المركز القومى للترجمة



أصل الحياة

تأليف: بول ديڤيز

ترجمة: منير شريف

مراجعة وتقديم: عادل يحيى أبو المجد



أصل الحياة

المركز القومى للترجمة
إشراف: جابر عصفور

- العدد: 1472
- أصل الحياة
- بول ديفــيز
- منير شريف
- عادل يحيى أبو المجد
- الطبعة الأولى 2010

هذه ترجمة كتاب :
The Fifth Miracle
By: Paul Davies
Copyright © 1999 by Orion Productions
All Rights Reserved

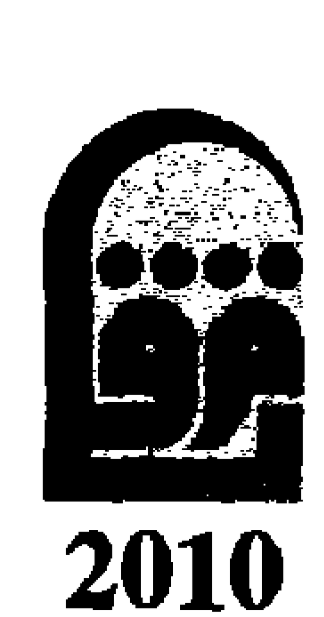
حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمركز القومى للترجمة
شارع الجبلاية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ – ٢٧٣٥٤٥٢٦ –فاكس : ٢٧٣٥٤٥٥٤
EL- Gabalaya st., Opera House, El Gezira, Cairo
e.mail:egyptcouncil@yahoo.com Tel.: 2735424 – 2735426 Fax: 27354554

أصل الحياة

تأليف: بول ديفيز

ترجمة: منير شريف

مراجعة وتقديم: عادل يحيى أبو المجد



2010

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

ديفيز، بول
أصل الحياة / تأليف : بول ديفيز، ترجمة: منير شريف،
مراجعة وتقديم: عادل يحيى أبو المجد ؛
ط ١ – القاهرة : المركز القومى للترجمة ، ٢٠١٠
٥٦٤ ص، ٢٤ سم
١- أصل الحياة
٢ – النشوء والارتقاء
(أ) شريف، منير (مُترجم)
(ب) أبو المجد، عادل يحيى (مراجع ومقدم)
(ج) العنوان ٥٧٦,٨٣

رقم الإيداع : ١٣٧٩٦ / ٢٠٠٩
الترقيم الدولى : I.S.B.N - 978 - 977 - 479 - 458 - 7
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

تهدف إصدارات المركز القومى للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربى وتعريفه بها، والأفكار التى تتضمنها هى اجتهادات أصحابها فى ثقافاتهم ولا تعبر بالضرورة عن رأى المركز.

المحتويات

في ذكرى «كيث رونكوم»

"Keith Runcom"

مقدمة المراجع

مؤلف هذا الكتاب – بول ديفيز – من كبار علماء الفيزياء النظرية وله مئات الأبحاث فى هذا المجال، كما أنه ألَّف عشرات الكتب التى يبسط فيها النظريات الفيزيائية والفلكية، وترجم بعضها إلى العربية، لكنه فى هذا الكتاب اختار موضوعًا بعيدًا عن تخصصه – وهو أصل الحياة – هذا وإن دخلت الفيزياء النظرية بعضًا من شعابه. وقد درس المؤلف عديدًا من المراجع والأبحاث عن مختلف أشكال الحياة على سطح الأرض، وفى أعماق محيطاتها وتلك التى ربما أتت مع النيازك من الفضاء الخارجى، محاولاً الإجابة عن الأسئلة، التى طالما شغلت اهتمام العلماء والفلاسفة وغيرهم من قادة الفكر ورجال الدين عن كيفية نشأة الحياة والصور التى سرت بها.

ويبيِّن المؤلف فى هذا الكتاب أن نظرية النشوء والارتقاء قد تطورت بدورها بدءًا من التفكير الساذج بأن أشكال الحياة نشأت عشوائيًا وتطورت من أشكال أقل تكيّفًا مع البيئة إلى أشكال أكثر تكيفًا إلى التفكير الأكثر اتفاقًا مع الرياضيات الحديثة، وهو التطور نحو المزيد من التعقيد – وأن هذا الاتجاه فى التطور ليس بالاتجاه الوحيد، فهناك أمثلة عديدة تتنافى مع ذلك الاتجاه – كما استعرض المؤلف المناقشات حول ما إذا كانت الحياة نشأت خارج الأرض، وربما خارج النظام الشمسى كله، وهل نحن وحدنا فى الكون أو أنه توجد حيوات أخرى ربما أكثر تقدمًا منا؟

وترجم هذا الكتاب – منير شريف – الذى حصل (من بين درجات علمية أخرى مساوية) على ليسانس فى الفلسفة، وترجم العديد من الكتب عن أصل الكون وفيزيائه – بعضها للمؤلف الحالى – لكنه جديد أيضًا على البحث فى أصل الحياة،

مما جعله يبذل مجهودًا مضاعفًا عند ترجمة هذا الكتاب، وذلك بالبحث فى أمهات الكتب عن بيولوچيا الحياة وكيميائها. فأضاف تذييلات كثيرة زادت الكتاب وضوحًا.

وإننى أرى أن عدم تخصص المؤلف والمترجم – والمراجع أيضًا – فى العلوم البيولوچية، جعل الكتاب الذى بين يدى القارئ أكثر بساطة وإمتاعًا، خاصة بالنسبة لغير المتخصصين الذين يريدون التعرف على أحدث النظريات فى هذا المجال المهم والجديد.

د. عادل أبو المجد

أستاذ الفيزياء – جامعة سيناء

يناير ٢٠٠٩

تصدير المترجم

سؤال قديم ومتجدد شغل بال الإنسان منذ بدء الخليقة ومنذ هبّ واقفًا على قدميه «من أين جاء؟ وبالتالى كيف سارت به الحياة على هذا الكوكب؟» وتنوعت الإجابات ما بين البسيطة والعميقة من آراء دينية وفلسفية وعلمية وعبر سائر الحضارات: مصر القديمة والصين وبابل وآشور واليونان وغيرها، كما حفلت علوم الكلام الإسلامية بمباحث عدة فى هذا الخصوص، كما حثّنا القرآن العظيم على «النظر»، «كيف بدأ الخلق؟» ليزداد إدراكنا بعظمة الله سبحانه وتعالى وأن «ليس كمثله شيء». ولست هنا فى مجال بحث كيف توقف «النظر» فى الشرق ونما بخطى حثيثة متسارعة فى الغرب إلى أن وصل إلى ذراه الحالية والتى مكّنته من الهيمنة على العالم بأسره على نحو أو آخر.

ولست أيضًا فى مجال تمحيص القول بأن ثمة ميدانين، أحدهما يختص بالعقيدة، والآخر يقتصر على العلم وينفصلان عن بعضهما البعض تمامًا فلا يحدّ أيهما الآخر بأى حد إنْ سلبًا أو إيجابًا (وهو رأى شائع لدى جمهرة غير قليلة من العلماء الموثوق بهم) أو الرأى المعاكس الذى يرى أنهما متصلان، يكمل كل منهما الآخر، حتى إن عددًا غير قليل من الثيولوچيين يستخرجون ما ينم عن «العلم» بمعناه الحديث والمعاصر من بين ثنايا آيات القرآن، إنْ بحق أو عن طريق لىّ المعانى ودلالة الكلمات، وهو ما يشيع على نحو باطنى غامض لدى أكثر المتدينين وبين جمهرة المشايعين لأى دين آخر سماوى أو غير سماوى... ليس هذا إذن موضوعنا الحالى إنما فقط أشير إلى مقولة رددها يومًا واحدٌ من بين القمم فى العلم والذى جابت شهرته الآفاق ألا وهو «أينشتاين» إذ ذكر ما معناه: أن الدين من دون علم سيكون مُعَوَّقًا وأن العلم من دون دين سيكون فاقدًا للمعنى.

ولكى أمهد لهذا الكتاب أقول إن العلم فى مسيرته، والتى بلغت أقصى سرعاتها منذ مشارف النصف الثانى من القرن العشرين حتى إنه يقال إن ما حصلته البشرية من علم فى النصف الأخير من القرن الماضى وحتى الآن يبلغ أضعاف ما حصلته على مدى عمرها كله. كما صاحب هذا التقدم تقدم آخر، دعّم الأول ودفع بسرعته وهو الذى جرى فى ما نعرفه من وسائل العلم وأجهزة القياس. وكان على السطح من مجالات البحث: «أصل الكون» (وقد تناوله المؤلف ذاته فى كتاب له، قمت بترجمته من قبل بعنوان عربى: «الاقتراب من الله» منذ سنوات قليلة ولكنه مازال قيد النشر) ثم «أصل الحياة» الذى هو موضوع الكتاب الحالى، ولن أملّ القول بأنه مهما بدا مستغربًا لدى القارئ المصرى/ العربى من تناول هذه الموضوعات من خلال العلم على مدى السنوات، بما فيها من إنفاق أموال طائلة وساعات بغير حصر ينفقها العلماء فى جهد جهيد، بينما ثمة إجابة تنام فى حضن التفسير السهل لمقولات الدين، والتى يستريح إليها أغلب الناس فى بلادنا ألا وهى: أن الله سبحانه قد خلق الكون والناس على ما هما عليه، وفى ذلك الكفاية، فلماذا هذا الجهد فى أمر لا ينفع؟!! وأعنى بذلك المبدأ الفلسفى «السبب الكافى».

أقول مهما بدا ذلك غريبًا فلن أملّ القول بشأن أمرين: فمن ناحية أن الله يأمرنا بالبحث فى أصل الخلق: ﴿قُلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ بَدَأَ الْخَلْقَ ثُمَّ اللَّهُ يُنشِئُ النَّشْأَةَ الْآخِرَةَ إِنَّ اللَّهَ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ﴾ **الآية «٢٠» «سورة العنكبوت»**، وغيرها من الآيات التى تدور حول نفس المعنى، وعلى الناحية الأخرى فإنك بنظرة متأملة قليلاً حولك ستجد أن أغلب التقنيات – العديدة والتى يصعب حصرها – التى تنعم بها البشرية قاطبة، قد تولدت من رحم هذا «الأصل» كونًا كان أو بشرًا. وإذا حاولت أن أعدد، ليس كل وإنما بعض، أهم هذه التقنيات فستضيق عنها صفحات هذه المقدمة، ولكن أكتفى بذكر أحدثها وأقصد به «الخلايا الجذعية» وكيف فتحت الباب واسعًا أمام العلماء للتوصل إلى الحد من أمراض ظلت لسنوات، بل قل قرونًا طويلة، مستعصية على العلاج.

ماذا إذن عن صاحب الكتاب وموضوعه؟ هو عالم بريطـانى جهبـذ فـى الفيزياء، أنجز درجته العلمية (دكتوراه الفلسفة فى الفيزياء) وحـاز علـى شـهرة عالمية عبر ما تقلده من مناصب أكاديمية فى الجامعات الكبرى وأكثر مـن ٤٠٠ ورقة بحثية منشورة فى المجلات العلمية المُحَكّمة، وأكثر من ٢٥ كتابًا فى العلـوم (تُرجمت لأكثر من عشرين لغة، من بينها العربية – ثلاثة كتب فقط فـى حـدود علمى)، هذا فضلاً عن تقلده عدّة جوائز علميـة مهمـة وظهـوره المـدوِّى فـى مؤتمرات علمية وبرامج تليفزيونية، بعضها أعده بنفسه وحظى بقبـول جمـاهيرى عريض. وفى عام ١٩٩٠ هاجر من بريطانيا إلى أستراليا، مركزًا جهده فى علوم «الكونيات» وحيث يشغل حاليًا مستشارًا علميًا للمعهد الأسترالى لـــ: البيوفلـك: وهو فرع مستحدث فى العلوم يعنى بالحياة فى الفضاء الخارجى، وكان آخر كتبـه بعنوان «كيف تبنى آلة زمن» (قمت بترجمته أيضًا، وقيد النشر) وثمة اسـتعراض عاجل لسيرته الذاتية بتفصيل معقول بذيل الكتاب.

آلى المؤلف على نفسه – والذى يمثل أيضًا جزءًا من شهرته العلميـة – أن ينزع فى كثير من كتبه بل أغلبها إلى تبسيط العلوم والحرص على نقل أعقـد مـا فيها إلى أسلوب يسهل فهمه للقارئ العام، بحيث تنمو معرفته عن الكـون حولـه، ومن ثم يُستكمل إدراكه للعلاقة بينه وبين هذا الكون – ويتجسد ذلك كله فـى هـذا الكتاب الذى صال وجال فيه فى موضوع «أصل الحياة» وكيف تم تناولـه شـرقًا وغربًا وشمالاً وجنوبًا سواء دينيًا أو علميًا، وبموضوعية وحيدة بالغتين، وانتهـاءً إلى ما تم الكشف عنه مؤخرًا من كائنات ميكروسكوبية تعيش وتزدهر وتتوالد فـى ظروف لم تكن تخطر على البال من قبل كدرجات حرارة تبلغ ١٨٠ درجـة عنـد فوهات براكين أعماق المحيطات أو فى درجات برودة قصوى أسفل جلاميد الـثلج فى قارة أنتاركتيكا بالقطب الجنوبى المتجمد من الكرة الأرضية، أو أقرانها ممـن يتغذى على القار وحده أو الأسمنت أو الكبريت وهلم جرا، مما اسـتدعى الـسؤال مجددًا من أين بدأت المسألة وكيف وهل ثمة حياة ذكية فى أكوان أخرى باعتبار أن

كوكب الأرض هو واحد من الكواكب المحدودة فى النظام الشمسى الذى هو واحد من بلايين عدة من الأنظمة الشمسية فى مجرتنا وحدها (درب التبانة أو ما يسمى أحياناً: الطريق اللبنى)، والتى هى بدورها واحدة من بلايين المجرات التى يزخر بها الكون؟ ولعل القارئ المتابع يدرك أن وكالة «ناسا» الشهيرة تقوم حاليًا بإجراء بعض الاستقصاءات العملية لهذا الشأن بواسطة العربات الروبوتية التى تبتعثها إلى كوكب المريخ والتى تقوم باستكشاف أعماق سطح «المريخ»، ثم تحلله وتبعث بالنتائج والصور إلى الأرض. ثم لعلى أشير أيضًا إلى ما يقوم به حاليًّا معهد **CERN** بسويسرا من إعادة المجازيه للظروف التى تم فيها «الانفجار الكبير» لمحاولة تفسير كيف تشكّل الكونُ ومن أين جاءت المادة التى تملأه. وإلى آخره. «هل لى هنا أن أستشهد مرة أخرى بمقولة معروفة لأينشتاين: أريد أن أرى الطريقة التى صنع الله بها الكون».

وأختتم بحمد الله والثناء عليه أن مكننى من نقل هذه المعرفة وهذا النوع من التفكير للقارئ العربى – وهو وحده ولى التوفيق.

المترجم: منير شريف

نهايات صيف ٢٠٠٧

مقدمة المؤلف

ثمة واقعة محورية فى تاريخ العلم، برزت مع نشر الأطروحة المبهرة لتشارلز دارون Charles Darwin تحت عنوان: «أصل الأنواع» "On the Origin of Species"[١]. فى العام ١٨٥٩. أعطى هذا العمل اقتناعًا لدينا عن كيف برزت الميكروبات عبر التدفق الهائل للزمن على هذا النحو المتنوع الذى نراه على الأرض فى يومنا هذا. إلا أن دارون أغفل الإشارة إلى: كيف بدأت الحياة فى المقام الأول. «المرء أيضًا له أن يتأمل ويفكر حول أصل المادة» هكذا علق هو. اليوم فإن الفيزيائيين قدموا على نحو ما شرحًا أو تفسيرًا لأصل المادة، ولكن أصل الحياة[٢] بقى واحدًا من التحديات الكبرى للعلم. وقد ألمح مرة فرانسيس كريك Francis Crick المكتشف المشارك لبناء الـ DNA إلى: «يبدو أنها تكاد تكون معجزة، لوفرة المشارطات التى من الممكن أن تجعل الحياة مستمرة فى السريان».

فى داخل «قشرة جوز»، تلك هى المشكلة. كيف لخليط من الذرات غير ذات أهداف والعمياء، أن تحتشد أو تجمع ذواتها فى شكل تعقيد من شأنه أن يوقع الروع فى النفس حتى فى أبسط تشكل كالميكروب مثلاً؟ هل هى مجرد حادثة حدثت مرة واحدة فى الكون كنتيجة لتركيب كيميائى غريب؟ أو أن قوانين الطبيعة كانت متعاطفة بيولوجيًّا، بحيث إن الحياة سوف تظهر فى أى موقع من الكون يبرز فيه كوكب شبيه بكوكب الأرض؟

التصديق بأن الحياة محفورة أو متجذرة فى قوانين الطبيعة، يحمل صدى من العصر الدينى البعيد، عن كون مُصَمَّم بحيث تسكنه الكائنات الحية. وعديد من العلماء لا يعطون بالاً لمثل هذه الأفكار ويصرون على أن بدء الحياة كان مجرد واقعة صدفوية كيماوية غير استثنائية، وتخص الأرض وحدها، وأن ظهور نتائجها

فى هذا التعقيد العضوى، ومن بينها الكائنات الواعية يشبه مصادفة بحتة ناتجة عن جزىء هائل فى عملية «يا نصيب». ويصر آخرون من ناحية أخرى، على أنه لا شىء يميز الأرض وحدها وإن الحياة منتج ثانوى لا يمكن تجنبه من عمل الفيزياء والكيمياء. وليس هناك أحسن من يتصدر وجهة النظر هـذه، سـوى البيولـوچى كريستيان دى دوف **Christian de Duve** والذى يعتقد أنه «أمر كونى» عليـه أن يظهر جليًا عندما تسمح له الظروف أو المشارطات بذلك[٣]. ولو أن رأيه ذاك كان صحيحًا فإن الكون وكأنه يدخل فى مباراة مع الحياة.

وثمة كثير على المحك فى هذا الجدل أو التحدى لأنه يتعلق بموقع الإنسانية من الكون، وهل نحن وحدنا فيه أو لسنا كذلك؟ وفى أى شىء نتناسب مع الطريقـة العظمى للأشياء؟ ولو أن الحياة قد ظهرت هكذا «جاهزة» فإن هناك فرصة جيـدة لأن نصنعها بمجهود قليل فى المعامل. وستكون لها أيضًا تطبيقات تقنيـة، وثمـة كثير من الكيمابيولوجيين يعملون الآن على ذلك. والصور الجديـدة مـن الحيـاة ستكون بمثابة ثورة فى مجال الهندسة البيولوچية، والبيولوچيا الجزيئية، ويمكنهـا أيضًا «أرضنة» كواكب أخرى، أى جعلها أكثر شبهًا بالأرض، وربما تصبح فـى آخر الأمر صالحة لسكنى الإنسان. هذا وإنشاء الحياة داخل «أنبوبة تجارب» سوف يذهب بعيدًا لتعرية الغطاء عن السر فى كيف بدأت الحياة بشكل طبيعى.

وتشكل دراسة أصل الحياة وتوزيعها عبر الكون جـزءًا مـن الموضـوع المعروف بـ «البيولوچيا الفلكية» "**astrobiology**"، والعلماء – وعلى نحو متزايـد – يسرى بينهم التمييز بأن قصة الحياة ليست فقط فى حدود الأرض، وإنمـا تمتـد إلى ما بين الكواكب وحتى الفضاء بين النجوم. والبحث الجاد المرهق لهذا الفـرع من العلوم يتركز فى التعرف على نشوء كوكب آخر، تكون الحياة قد بـدأت فيـه بشكل مستقل. وثمة موافقة عامة ترشح كوكب المريخ كى يمثل هذا الأمل، ولو أنه عبر نظامنا الشمسى فإن الكوكب «أوروبا» "**Europa**"، وهو أحد أقمار المشترى، يُعدّ بدوره مُنافسًا مُرشحًا إلى جوار المريخ. إلا أن المريخ هو الذى يحظى حاليًـا

بالتركيز عليه، وإليه توجه مهمات الفضاء الحالية أو الجارى التخطيط لها. على الرغم من أنه اليوم ليس إلا صحراء متجمدة، لكنه كان فى الماضى دافئًا ورطبًا، وليس بعيد الشبه عن الأرض. ومنذ أربعة بلايين من السنين مضت، ربما كان المريخ أكثر تناسبًا لسكنى الحياة أكثر من كوكبنا الحالى.

وليس واضحًا بصورة قاطعة أن الحياة الأرضية قد بدأت فعلاً فوق الأرض. ففى بواكير تسعينيات القرن الماضى اقترحت أنا، وبشكل مستقل جاى ميلوش **Jey Melosh** من جامعة أريزونا، أن الميكروبات الحية ربما جاءت إلينا عبر الصخور التى وصلتنا والتى نتجت عن انفجارات الكواكب وبتأثير الكويكبات (أشباه النجوم) والمذنبات. وبعض هذه الصخور قد تجد طريقها إلى الكواكب المجاورة وتزرع الحياة فيها. وبصفة خاصة، فإن الصخور التى قذف بها المريخ ربما أتت لنا بميكروبات مريخية إلى الأرض، مخصبة لها بأول أشكال الحياة. وإذا كان الأمر كذلك، فإننا نكون جميعًا لسنا إلا أخلاف لسكان المريخ. والعكس أيضًا صحيح، أى قد تكون الصخور التى قذفت بها الأرض قد وجدت طريقها للمريخ، واستعمرته من خلال الباكتيريا الأرضية. وفى أى الاتجاهين فإنه يبدو أن الأرض والمريخ ليسا منفصلين بيولوجيًا. وسواء كان أى من الطريقين، ومهما كان الأمر مدهشًا للغاية، فإنه يثير تعقيدات لأى محاولات تأسيس نشوء ثان للحياة فوق المريخ، إذ يبدو أن أحد الكوكبين قد لوث الآخر.

ومنذ طرحنا – ميلوش وأنا – هذه الفكرة فى البدء فقد لاقت قبولاً متزايدًا. هذا وقد تدعم السيناريو الرئيسى من خلال دراسة مفهومة أجراها كيرت ميلوكوسكى[٤] **Curt Meleikowsky** ونشرتها مجلة إيكاروس **Icarus**[*]. وقد أخذ زملاؤه المشاركون فى الدراسة فى اعتبارهم كل المخاطرات التى واجهت الميكروبات القادمة من المريخ إلى الأرض أو العكس، مع تركيز خاص على

(*) والكلمة إيكاروس تشير فى الميثولوچيا اليونانية إلى اسم لابن ديدالوس، والذى فرّ من السجن، محلقًا بجناحين شمعيين إلى حتى اقترابه من الشمس، حيث ذاب الجناحان وسقط هو فى البحر (المترجم).

الآثار التدميرية، التى يتسبب فيها النشاط الإشعاعى. وانتهوا إلى أن «سواء إن وجدت الميكروبات على المريخ مثلاً أو أنها موجودة الآن، فإن طريقًا لها إلى الأرض ليس مجرد إمكانية ولكنه احتمال كبير، انتقالها من الأرض إلى المريخ أيضًا ممكن ولكن بدرجة أقل».

واقعة جاءت بفكرة ترحال الميكروبات بين الكواكب وجعلتها بارزة على سطح هذا المجال، تتلخص فى التصريح غير العادى الذى أدلى به الرئيس الأمريكى بيل كلينتون **Bill Clinton** فى أغسطس ١٩٩٦ من أن وكالة ناسا **NASA** قد اكتشفت دليلاً على وجود الحياة على المريخ. والاكتشاف كان عبارة عن العثور على حجر نيزكى فى قارة إنتاركتيكا **Antarctica**(*) عام ١٩٨٤، والذى عرف فيما بعد أن مصدره هو المريخ. وللتأريخ فإن ثمة أكثر من عشرين عنصرًا قد تم العثور عليها قدمت من المريخ تحت تأثير كونى على النجم الأحمر ودفعها من هناك إلينا. ولكن الحجر محل اهتمامنا هنا هو فى حجم ثمرة بطاطس كبيرة، حافلة بملامح رفيعة من الباكتيريا المتحجرة. هل يمكن أن تكون بقايا لميكروبات مريخية؟

أثير الجدل طويلاً لعدة سنوات دون نتيجة واضحة. فالذين قللوا من شأن هذه البقايا قالوا بأنها فقاعات فى الصخرة من التكوينات المعدنية غير الضارة. والدليل الدافع جاء من أصل بيوجينى جاء بدوره من حبيبات مغناطيسية داخل بعض هذه التكوينات. والحبيبات تلك لها تشكّل نقى من الباكتيريا الأرضية التى تستخدم المغنطيسية فى تحليقها أو تنقلها(٥).

وبالرغم من أن دارون رفض أن ينقاد أو يقيد نفسه بمسألة ميكانيزم أصل الحياة، فقد أوضح فى خطاب لأحد أصدقائه(٦) أن بركة صغيرة دافئة فى مكان ما على السطح القديم للأرض، ربما احتضنت خليطًا كيميائيًا. وبعدئذ بتأثير طاقة

(*) قارة غير مأهولة تقع فى القطب الجنوبى (المترجم).

ضوء الشمس تشكلت منه جزئيات أكثر تعقيدًا إلاّ أن التخمير بطريقة ما أثمر الحياة أو كان بمثابة «حضّانة» لها. وفى النهاية تحولت فكرة دارون هذه إلى النظرية المعروفة جيدًا المسماة «نظرية الشوربة البدائية».

وفى السنوات الأخيرة ظهرت معوقات جدية لوجهة النظر التقليدية فى هذه النظرية. فنحن نعلم الآن أنه أثناء أول ٧٠٠ مليون سنة من تاريخ الأرض تساقطت عليها، وبشكل قاسٍ، نيازك هائلة ومذنبات. وأكبرها ربما تسبب فى عقم أو جدب سطح كوكب الأرض بأن أحاط الكوكب برمّته بغمامة من بخار الصخور المتوهجة. والبركة الصغيرة الدافئة، أو حتى البحر، لم يكن ليشكل أيهما موقعًا واعدًا للحياة وسط الاضطراب الكونى آنذاك. ولكن الآن ظهرت خيوط جديدة من الأدلة. فقد بدأ العلماء خلال التسعينيات فى اكتشاف الكثير والكثير من الميكروبات التى يمكنها العيش فى ظل ظروف غاية فى التطرف، وهى جميعًا أصبحت تسمى الأوفيليات القصوى **extremophiles**(*). ومن أشهرها تلك المحبة للحرارة الشديدة والمسماة الأوفيليات فائقة الهيام بالنشاط الحرارى **hyperthermophiles**(١). وأكثر هذه شهرة تلك التى تنمو فى الماء المغلى المتدفق من فتحات البراكين على أرضية المحيطات والتى تزيد درجة الحرارة فى بعضها على نقطة الغليان العادية للماء. ومشروعات الحفر المتعددة على الأرض تحت سطح البحر، بدورها تكشف أن الجزء القابل للسكنى فى الأرض يمتد لعمق عدة كيلومترات فى القشرة الساخنة للأرض. ويبدو أن الصخور تحت أقدامنا حافلة بالحياة الميكروبية.

هذا المجال الموجود تحت سطح الأرض يفتح الباب لإمكانية جديدة للحياة الباكرة. باعتبار أن ما تحت الأرض فى هذا العمق، والذى يمثّل ملاذًا لمحبى الحرارة العضويين، سيكون بمثابة حماية لهم من القذف الكونى أو التراشق الكونى. وربما تكون التشكلات الأولى للحياة الأرضية قد عاشت فى ذلك العمق

(*) أقرب شرح لكلمة أوفيلو والتى تعنى باليونانية "حب" هو أن هذه الميكروبات من محبات الحرارة أو النشاط الحرارى الأقصى (المترجم).

المتقد من قشرة الأرض، ثم هاجرت بعد ذلك للسطوح الباردة فقط عندما تحسنت الظروف. وهذه النظرية يدعمها الدليل الجينى القائل بأن أقدم وأعمق فروع شجرة الحياة تشغله تلك الأوفيليات المُغْرمة بالنشاط الحرارى الفائق **hyperthermophiles**. ومثل هذه الميكروبات لم تزل حية فى أحفورياتها، ولم تزل متمسكة بأسلوب حياتها القديم بعد بلايين السنين التى مرت عليها.

هذه الاكتشافات نقلت البحث عن الحياة القديمة فوق المريخ أو القمر «أوروبا» بأمل ولو ضعيفًا للعثور على شىء حى فوقهما أو على أحدهما. هذا وقائمة المعلومات الواردة من مجسات أو مسابر الفضاء تظهر أن ثمة ماءً وافرًا فوق المريخ محبوسًا فى التربة التى تشكل الجلاميد، وربما بعيدًا تحت السطح، فإن الحرارة الداخلية للكوكب قد تذيب هذه الجلاميد لتشكل جوًا يحتضن الأوفيليات العضوية القصوى **extremophile** المشابهة للتى تشكلت تحت سطح الأرض.

ولأنه كوكب صغير فقد كان المريخ أسرع فى برودته عن الأرض. وعليه فإن المنطقة المناسبة لمُحبَّات الحرارة الباكرات هذه، والتى احتمت من التراشق الكونى ستكون أعمق بالنسبة للمريخ، داعمين فكرة أن الحياة ربما ازدهرت على المريخ قبل ظهورها على الأرض بمئات بلايين السنين، وأنها ربما انتقلت إلى الأرض داخل المقذوفات الصخرية.

وامتدادًا للنظر فى هذا الحقل فلقد شهدت السنوات الأخيرة اكتشاف حوالى مائة كوكب فيما وراء نظامنا الشمسى، وهذا يمثل مشهدًا ضاغطًا نحو العثور على الحياة فوق أيها. وهذه الكواكب فيما وراء النظام الشمسى قد تم سبرها على نحو غير مباشر عبر الذبذبات أو الترنحات التى تنشئها فى آبائها النجوم. وهذه التقنيات كانت لصالح سبر الكواكب الضخمة التى تدور فى مدارات صغيرة، وبالتالى لن تكشف عن وجود كواكب شبيهة بالأرض. إلا أن الخطط الطموح تسير على خطى قاعدة فضائية منظارية تهدف لما يعرف بـ «الكوكب الأرضى» " **Terrestrial Planet**" وبالعثور على مثل ذلك لن يتيح فقط الكشف عن كوكب صخرى صغير،

ولكن سيتيح أيضًا سبر التوقيع المفتاح للحياة، مثل طبقة الأوزون الموجـود حاليًـا فى الجو الأرضى.

والحديث عن الحياة فوق كواكب أخرى يفتح الطريق لمشهد آخر عن الكائنات الذكية ووجود حضارات أخرى فى الفضاء المترامى، وداخل نظامنا الشمسى، فإن هدف العثور على أى نوع من الحياة أكثر تعقيدًا من الباكتيريا البسيطة هو غرض ناء وشديد البعد إلى أقصى حد. ولكن لو ثمة كرات أرضية أخرى بعيدًا فى المجرة، فربما أن الحياة برزت هناك لتشكل نباتًا، وحيوانات أو حتى كائنات ذكية. ونحن ببساطة لا نعرف، ولكن من المعقول أن نلقى نظرة على الأمر. منذ أكثر من أربعين سنة قامت مجموعة صغيرة من الفلكيين بمسح السماوات عبر تليسكوبات راديوية، بأمل أن يتوصلوا أو يعثروا على إشارة ما أو رسالة قادمة من حضارة فضائية، وحتى الآن لم ينجحوا فى ذلك، إذ ربما أنه لا توجد مثل هذه الحضارة، أو لو أنها موجودة فلم تبعث بأى رسالة فى اتجاهنا.

ولكن شيئًا واحدًا هو الواضح، لو أن الكون متعاطف بيولوجيًا لدرجة أنه يمكن للحياة أن تنشأ بشكل جاهز بمجرد توافر شروطها، ومن ثم فإنه يوجد كثير من الوقت الذى مر لإحداث تطوير لإنتاج الذكاء فى عوالم أخرى. حيث إن الشمس والكواكب قد تشكلت منذ أكثر قليلاً من ٤,٥ بليون سنة مضت، بينما الكون عمره يصل إلى ١٣ بليون سنة. ويصبح مفهومًا أن الذكاء انبثق فى مكان ما فى المجرة قبل وجود الأرض ذاتها.

وأصل الكون وتطوره ككل من العوامل المهمة فى قصة الحياة. والدليل الفلكى يكشف أن الكون قد ولد من انفجار كبير "**big bang**" مصحوبًا بهَبَّة من الحرارة الشديدة. ومنذ الثانية الأولى لهذا الانفجار ظهرت القوى الأساسية والعناصر التأسيسية للمادة. وبنهاية تلك الثانية كانت المواد الضرورية للكون قد تشكلت بالفعل. وكان الفضاء فى كل مكان مملوءًا بـ «شوربة» تختلط فيها عناصر تحت ذرية كالبروتونات والنيترونات والإليكترونات تحيط بها إشعاعات فى درجة حرارة تبلغ حوالى عشرة بلايين درجة.

وبالمستويات الحالية فإن الكون فى تلك الفترة كان من دون ملامح على نحو مدهش، والمواد الكونية كانت مبعثرة فى الفضاء تقريبًا من دون هيئة أو شكل معين. والحرارة فى كل مكان هى نفسها تقريبًا. والمادة مكشوفة أو عارية عن شكلها إلى حتى شكل مكوناتها الأساسية فى ظل تلك الحرارة المرعبة. أى أنها كانت فى حالة بساطة أنيقة. وأى ملاحظ نفترضه آنذاك، لن تكون لديه معرفة ولو طفيفة بأن هذه الحالة غير واحده تتبئ بأن الكون يحمل فى طياته تلك الطموحات غير العادية. وليس ثمة تفسير سوف لا يتفق مع هذا، منذ عدة بليونات من السنين، فإن تريليونات من النجوم المستعرة لا بد أنها نظمت نفسها إلى البلايين من المجرات ذات الحركة المغزلية، ولدرجة أن النباتات وبللورات الكريستال والسحب والمحيطات وأنهار الجليد قد ظهرت جميعها. وأن الأشجار والأفيال والأسماك سوف تقطن واحدًا من تلك الكواكب، وأن هذا العالم سوف ينذر بوجود «ضحكة» إنسانية. ولا شىء من كل هذا كان يمكن التكهن به.

وبما أن الكون يتمدد من حالته المبدئية، فهو إذن يبرد، ومع انخفاض الحرارة تأتى إمكانيات أكثر، فالمادة كانت قابلة للتجمع بشكل كلى أو إجمالى فى بناء لا شكل له، والتى شكلت بذورًا للمجرات الحالية. وبدأت الذرات فى التشكل، ممهدة الطريق للكيمياء كى تشكل الأشياء الفيزيائية الصلبة.

وعديد من الظواهر العظيمة انبعثت فى الكون منذ ذلك الوقت: ثقوب سوداء هائلة تزن ما مقداره يكافئ وزن بليون شمس، تلتهم النجوم، بينما تنفث دفئًا من القوى الغازية، ونجوم نيترونية تدور حول نفسها ألف مرة فى الثانية، وموادها تنسحق إلى بليون طن فى السنتيمتر المكعب، والعناصر تحت الذرية تراوغ لدرجة اختراقها سنوات ضوئية فى ممر متماسك وموجات الجاذبية «الشبحية» التى لا تترك ممراتها أى أثر أو طبعة على الإطلاق قابلة لأن تُدرك أو تُرى. ومع ذلك، ولو أنه يثير الدهشة، فإن ظاهرة الحياة ملحوظة بما يعدل كل تلك الظواهر مجتمعة. فإنها لم تأتِ بأى تغيّر مفاجئ أو دراماتيكى فى مشهد الكون، باعتباره متناغمًا

ومتضامًا ومتكاملاً. ومهما كان أمر الحياة، فإن التغيّرات التى وقعت ومهما كانت على نحو خام أو مصنوع، فقد كانت تدريجية. أما – بصرف النظر عن كل شيئ – بمجرد بزوغ الحياة فإن الكون لم يعد كما كان قبلها. وببطء ولكن تأكيدًا فقد انتقلت الحياة إلى كوكب الأرض. وبتقديمها طريقًا للوعى، والذكاء، والتقنية، فقد أصبحت طامحة وواعدة بتغيير الكون.

وهذا الكتاب يسلط الضوء على أصل الحياة. ومشكلة نشوء الحياة (من حياة سابقة) تنقسم إلى مشكلات «أين؟» و«متى؟» و«كيف؟». وسوف نرى أن العلماء لديهم فكرة كافية عن متى أسست الحياة نفسها لأول مرة على الأرض. وبالنسبة لأين؟ وعلى أى جزء من الأرض كان ذلك، فإن الدليل يشير على نحو متزايد إلى موقع حار تحت السطح، ربما قريب من فتحة أو منفذ بركان فى المحيط أو فى عمق الصخور تحت البحر. ولكن مادامت الحياة إنتقلت من اللا حياة على الأرض أو على المريخ أو عليهما معًا، فإن السؤال يبقى مفتوحًا.

هذا والجزء فى المتاهة الخاص بـ «كيف» هو أصعب الأسئلة الثلاثة فى مجال حله، وبشكل جوهرى هو الأكثر إغراءً وإدهاشًا. وعندما قدم داروِن المشهد المتعلق بالبحيرة الصغيرة الدافئة، كان معتقدًا أو مفترضًا بأن الحياة هى نوع من «المادة السحرية» أو شكل خاص، بل غامض من عنصر عضوى. ويبدو من الطبيعى التفكير فى وجود وصفة كيماوية تنبعث منها الحياة، عندما يتم اتباعها فى المعمل. أشبه بعملية إنضاج «كعكة» فإن السؤال سيكون منحصرًا فى كيفية خلط العناصر المكونة لها بالطريقة الصحيحة حتى تثمرها حيّة أمامنا – واليوم تبدو هذه الوجهة من النظر بشأن الحياة خالية من الرشد. لأن تطور الجزيئات العضوية كشف عن أن آلية الحياة معقدة بشكل مذهل. إنها ليست مجرد المواد التى صُنعت منها الحياة، هى العنصر الفعال فى الأمر. وإنما التعقيد الذى يصعب حَلّه والتخصص العضوى المعقد للجزيئات الحية. والدرس المركزى المستفاد من الجزيئات العضوية هو أن الحياة تقوم بسحرها من خلال إجراءات إعادة نسخ

المعلومات. وأنها تقوم بذلك من خلال توظيفها لسوفت وير رقمى يستعمل الأرقــام ٣، ٤، و٢٠، وكتأثير نَجَمَ عن ذلك فإن الخلية الحية ليست مــادة ســحرية كـشأن الكمبيوتر الفائق القدرة **Super computer**.

والطبيعة المعلوماتية للحياة تفيد التعقيد فى مشكلة نشوء الحيــاة. والعــبء يتحصل فى شرح، ليس كيف تجمعت المواد المناسبة مع بعــضها (الهــاردوير)، وإنما كيف بزغت المنظومة المعلوماتية (التحكم فى السوفت وير). وبينمــا لــيس مشكوكًا فى صحة أن الكيمياء سوف تستمر فى مدّ مشكلة نشوء الحياة بالمعلومات عبر طرق مهمة، فأنا أعتقد أن تقدمًا حاسمًا فى مجال فك سر الحياة، سوف يأتينــا من دراسة نظرية المعلوماتية والتعقيد. مثل هذه الموضوعات لم تــزل بعــد فــى مرحلة طفولتها، ولكن من الواضح فعليًا أن ثمة مبادئ كونيــة موجــودة ظاهريًــا بالفعل، والتى تنطبق على تعقيد حالة المادة الحية والمادة غير الحية.

وشعورى الشخصى أن فهمًا كاملاً لطبيعة وسر الحياة سوف يتطلب أيــضًا أن نأخذ فى حسباننا قوانين فيزياء الكم. هذا وقواعد «اللعبة» الكمية تبدو لنا كما لو كانت قدرًا عاثرًا، فعلى سبيل المثال فإن النظم الكمية تقوم على المبــدأ المنــسوب لهــايزنبرج والخــاص بـــ «اللا يقين» والذى يورثنا الحيرة والارتبــاك. والــلا حتمية فى الطبيعة، لدرجة أنه من غير الممكن التنبؤ بما سيفعله نظام كمــى بــين لحظة واللحظة التالية. كما أن ثمة ملمحًا غريبًا آخر، يتمثل فى أن عنــصرًا مثــل الإليكترون يمكنه أن يتواجد فى أكثر من حالة فى نفس الوقت، على سبيل المثــال، فإنه ربما يتواجد فى مكانين أو أكثر فى المرة الواحــدة، أو أن حركتــه المغزليــة سوف تتجه إلى أعلى وإلى أسفل معًا فى آن واحد. ومن الناحية التقنية يسمى هــذا أو يعرف بالــ: **superposition**. والأكثر من ذلك فإن اثنين، أو أكثر من العناصر الكمية يمكن أن تظل مرتبطة حتى لو كانت متباعدة عن بعضها بتأثير مــا ســماه أينشتاين «التفاعل الشبحى عبر المسافات».

تغيّر هذه الملامح الشاذة والغريبة من طبيعة التوظيف المعلوماتى على المستوى الذرى بشكل جوهرى، هو الحقيقة التى انجذب لها الكثير من انتباه الفيزيائيين والمهندسين مؤخرًا. وإذا كان ممكنًا إعداد أو تجهيز تأثيرات كمية بشكل كاف، فإن العناصر الذرية وتحت الذريه يمكن استخدامها لتسريع أى عملية حوسبة كمبيوترية بأكثر من أى ما يمكن أن يفعله كمبيوتر فائق موجود. والجنس البشرى يقترب للغاية من بناء كمبيوتر كمى وظيفى، سوف تكون له قوة خاطفة للأنفاس(٧). فعلى سبيل المثال يستطيع كمبيوتر كمى تام مصنوع من عشرات قليلة من الذرات أن يجسّد الكون على نحو أفضل كثيرًا مما يستطيعه أحسن كمبيوتر معاصر. وليس نوعًا من المبالغة القول بأنه إذا تم بناء كمبيوتر كمى فسوف يعنى هذا تقدمًا تقنيًا بحجم اكتشاف أصل الكمبيوتر الإليكترونى الموجود حاليًا.

وهل تكون الطبيعة قد استغلت بالفعل قدرة ميكانيكا الكم لتحليل المعلومات؟ أم أنها المرة الأولى فى التاريخ (مع إمكانية استثناء «العجلة») التى طورت فيها البشرية تقنية غير معروفة فى أى مكان آخر فى العالم الطبيعى؟ وإذا كانت إجراءات المعلوماتية الكمية حادثة فى الطبيعة، فأى مكان سيكون أفضل لها من الخلية الحية التى تمثل الكمبيوتر الفائق للطبيعة؟

وبالطبع، وعند مستوى معين فلا بد أن تلعب ميكانيكا الكم دورًا فى الحياة، ولو فقط بإمدادنا بالروابط الكيميائية الجزيئية الضرورية لوظائف الحياة. ولكن يمكن لهذا الدور أن يكون أكثر أهمية من ذلك؟ هل تذهب آلية الجزيئات الحية إلى ما وراء المبدأ البسيط المسمى مبدأ الليجو **Legoprincipal** «بأشكاله المتعددة، مرتبطة ببعضها فى قضيب واحد، وتقوم فعلاً بتجهيز القدر العاثر الكمى الذى أشرت إليه قبلاً باختصار، وأن هذا القَدَر العاثر سوف يمكّن «كمبيوتر» كميًا من تجسيد هذا العمل البطولى المدهش الخاص بالمعلوماتية.

أنا من أول الموافقين على أن تلك فكرة مشهدية هائلة. وتدل الحسابات البسيطة على أن التأثيرات الرقيقة أو الضغيفه للكم التى كتبت عنها هى رقيقة

بدرجة لا تكاد تصدق، وأنها يمكن أن تتدمر بسرعة فــي «مستــشفى مجاذيــب» الجزيئات فى الخلية. ولكن ربما توجد طرق تسمح للجزيئات العضوية المحتــشدة بأن تحمى نفسها من هذا التحلل أو التفسخ بتلك الصورة العنيفة. بالتأكيــد نحتــاج لمزيد من البحوث لأجل الحصول على إجابة. وفى هذا الحين فثمة دليــل ظرفــى على أن الخلية قد تأخذ هيئة كمبيوتر كمى. وهذا الدليل أتــى بــه أبورفــا باتــل **Apoorva Patel** بالمعهد الهندى للعلوم فى بنجالور **Bangalor**[٨]. أشار باتل إلــى أن الأرقام ٣، ٤، ٢٠ التى تميز الشفرة الجينية، تظهر بــشكل أوتومــاتيكى فــى مشكلة معروفة جيدًا فى مجال الحوسبة الكمبيوترية الكمية، وهى عنــد اســتهداف البحث عن قاعدة معلومات لأشياء لا مصدر لها. وهذه مجرد واحدة ولو صــغيرة نوعًا، تعنى أن الــ **DNA** ربما يستخدم المواقع الفائقة الكمية لكى يقــوّى كفاءتــه الوظيفية.

من الناحية الوظيفية فأنا فيزيائى نظرى، والقارئ قد يعجب لماذا أكتب فــى مجال البيولوچيا الفلكية. لقد كنت دومًا مغرمًا بمــشكلة أصــل الحيــاة، والــسؤال المتصل بها عما إذا كنا وَحْدَنا فى الكون أو أننا لسنا وحدنا. ويمكننى تعقــب هــذا الإغواء أو التعلق بالموضوع منذ أن كنت طالبًا يدرس الفيزيــاء بإحــدى كليــات جامعة لندن فى ستينيات القرن الماضى. ومثل كثير من أصدقائى قــرأت روايــة خيال علمى رائعة لــ «فريد هُويل» **Fred Hoyle** بعنــوان «الــسحابة الــسوداء» **"The Black Cloud"** عن وصول سحابة ضخمة من الغازات إلى فــضاء النظــام الشمسى[٩]. ومثل هذه السحب معروف جيدًا للفلكيين لكن فكــرة هُويــل الجاذبــة للاهتمام هى افتراضه بأن هذه السحابة قد تكون حيّة. الآن هذا قد يكــون مجــرد أُحجية. كيف تكون سحابة ضمن الأحياء؟ ولقد تحيرت فى نشأتها طويلاً. وبالتأكيد سحب الغاز لا بد لها أن تطيع قوانين الفيزياء؟ كيف يتسنى لها أن تنجــز ســلوكًا استقلاليًا أو بشكل منفرد بعيدًا عن نفوذ تلك القوانين؟ هل تمتلك أفكارًا؟ هل لــديها اختيارات؟ ولكن حينئذ، وهذا حدث لى، كل الأعضاء الحية يفتــرض خــضوعها

لقوانين الفيزياء، ولكن عبقرية هويل كانت فى استخدامه نموذج السحابة ليبرز لنا هذا التناقض بطريقة تتسم بالقوة. بقيت مصدومًا وشبه مضطرب. وتعجبت متسائلاً: ما هى بالضبط الحياة؟ وكيف تسنى لها أن تبدأ؟ هل ثمة شيء مضحك يجرى داخل الأعضاء الحية؟ وعند هذا الوقت بالضبط أعطانى المشرف على رسالتى للدكتوراه (كتدريب عن تحور الضوء) بحثًا للفيزيائى المحترم إيچين ڤيجنر **Eugene Wigner**، وزبدة الكلام فى هذا البحث أنه يبرهن على أن نظامًا فيزيائيًا لا يمكنه أن يحقق الانتقال من اللا حياة إلى الحياة دون انتهاك للفيزياء الكمية(١٠). وهكذا فإن ڤيجنر اعتقد بأن ثمة شيئًا «مضحكًا» قد وقع عند بدء الحياة.

وبعد وقت قليل عقب ذلك دفع المشرف لى ببحث آخر يتصل بالبيولوچيا وهذه المرة كان صاحب البحث هو الفيزيائى البيولوچى براندون كارتر **Brandon Carter** والذى صور لى مشكلة مهمة ومثيرة بشأن الحياة، وهى التى تفادت الحاجة للقلق عن كيف بدأت بالفعل. طرح كارتر السؤال: ما الخواص التى حازها الكون الفيزيائى بحيث وجدت الحياة من أى نوع أولاً وأخيرًا؟ افترض أنك بطريقة سحرية استطعت أن تغيّر فى قوانين الطبيعة أو الشروط المبدئية للانفجار الكبير، فإلى أى مدى تستطيع أن تغيِّر القوانين الأساسية لبناء الكون بحيث تظل تسمح بالحياة؟ وإذا أخذنا مثالاً بسيطًا، فإن الحياة كما نعرف جميعًا تتطلب عناصر كيميائية معينة خاصة الكربون. ولكن ذرات قليلة من الكربون صُنعت فى الانفجار الكبير، فغالبيتها تم صنعها بداخل النجوم. وقد لاحظ فريد هويل بالفعل أن الإنتاج الناجح للكربون فى النجوم هو بالفعل عملية من قبيل إلمس وامض **" touch and go"**. وأنها تعتمد على نحو رقيق على خواص قوى الذرات. وعامل غير بارع أو غير ماهر وفى ظل القوانين الأساسية لفيزياء الذرات، والكون، ربما سيحصل على قليل من الكربون أولا كربون بالمرة وربما لا حياة. وأفكار كارتر أصبحت معروفة «بالمبدأ الأنثروبولوچى» **"the anthropicprinciple"** وتقترح على نحو متهور وجزئى أن مسألة وجود الحياة هى مسألة يمكن قياسها كنتيجة لمصادفات سعيدة فى البناء الرياضى التحتى للكون.

ومع جرأة الفكرة المصرح بها في بحث كارتر، فلقد ظل سر الحياة على حاله: غير مشروح أو مفسر، وبعد قليل من الوقت، توظفت أنا كباحث مشارك في معهد الفلك النظرى بكامبريدج، والذى كان يديره فريد هويل والباحث المشارك براندون كارتر **Brandon Carter**، وهناك صادفت كتابًا صغيرًا لخص المشكلة لدى، إذ يحمل عنوانًا: ماهى الحياة؟ **What is life?** من وضع الفيزيائى إيروين شرودنجر **Erwin Schrodinger**، ويشرح لماذا يبدو النظام العضوى غامضًا من وجهة نظر الفيزياء(١١). وبعدها اكتشفت أن هذا الكتاب كان صاحب تأثير هائل أو مكثف منذ عشرين عامًا فى الأيام الباكرة لموضوع البيولوجيا الجزيئية.

وللأسف فقد أثار كتاب شرودنجر لدىّ المزيد من الأسئلة عوضًا عن إجابات قد أعثر عليها، وسلمت بأن مسألة التوالد البيولوجى فى تفكيرى تمثل هدفًا صعبًا للغاية. ومع ذلك فقد أعطانى كارتر نسخة منقحة من بحثه عن المبدأ الأنثروبولوجى (والذى لم ينشرها أبدًا)(١٢)، ومع زميل باحث بالمعهد نفسه يدعى بل ساسلو **Bill Saslaw**، أصبحنا كمن يخوض فى الماء دون طائل مع أفكار كارتر. حتى إننا حاولنا الالتقاء مع فرانسيس كريك **Francis Crick**، الذى كان يعمل وقتئذ فى معمل المجمع الطبى بكامبريدج. ووجدنا أن كريك كان مشغولاً، وبدوره بدا كارتر وأن كل ما يعنيه هو الحصول على مؤيدين بدرجة جيدة لمبدأه الأنثروبولوچى، حتى إن انشغالى أو اهتمامى بالمسألة البيولوچية بدأ فى الخفوت.

ومرت عدة سنوات بعدها حتى بواكير الثمانينيات، حيث أقام مارتن ريس **Martin Rees** (الذى حاز بعد ذلك لقب «سير» **Sir** وأصبح الفلكى «الملكى") مؤتمرًا عامًا تحت عنوان: «من المادة إلى الحياة» **"From Matter to Life»**. استطاع ريس مع زميل له فلكى يدعى برنارد كار **Bernard Carr** أن يعيدا الحياة لموضوع المبدأ الأنثروبولوچى فى بحث(١٣) شهير لهما، نشرته مجلة «الطبيعة» **Nature** عام ١٩٧٩. وقد تسنى لمؤتمر أُقيم فى ذلك الوقت أن يحضره فيزيائيون وفلكيون من أمثال براندون كارتر وفريمان دايسون **Freeman Dyson**

وتومى جولد **Tommy Gold**، وبيولوچيون مثل لويس ولبـــرت **Lewis Wolpert** وسيدنى برينر **Sidney Brenner**، ورياضيون كجـــون كونـــواى **John Conway** وخبراء ف المسألة الجينيّة مثل مانفرد إيجن **Manfred Eigen** وجراهام كـــارينز سميث **Graham Cairns-Smith**. وكانت قائمة موضوعات المؤتمر، وكأنها تسلط الضوء، مركزًا على «سر الحياة». وعبر العقد التالى تقريبًا، وجدت نفسى تحـــت سيطرة أفكار هويل مرة أخرى وأيضًا دايسون وجولد، وبمعونة شـــاندرا ويكرامـــا سينغى **Shandra Wickrama singhe**، بشأن الفكرة الجسورة بأن الحياة ربمـــا لا أصل لها على الأرض إطلاقًا، وإنما جاءت إليها من خلال المذنبات. ومن ناحيتـــه راح دايسون يتأمل فى أصل الحياة، مطلقًا عنان خياله للبحث فى مستقبل والقـــدر المطلق الذى ينتظر الحضارة التقنية. أما جولد فقد كانت لديه نظريـــة تقـــول بـــأن كميات كبيرة من الهيدروكربون **hydro-carbon** (مركب عـــضوى لا يحتـــوى إلا على الهيدروجين والكربون فقط مثل البنزين والأسيتيلين: المترجم) تبقى محصورة تحت الأرض، وعندما تُجرى بحثًا لاختبار ما جاء به من حدوس، فثمـــة أشـــكال أخرى للحياة يجرى اكتشافها. وكل هذه التطويرات أطّرت تفكيرى عن الموضوع.

وكذا فثمة أثر لشخص آخر له اهتمامات تشبه اهتماماتى بالفلك العضوى هو المرحوم كيث رنكورن **Keith Runcorn**، والذى سبق أن زاملنى بجامعة نيوكاسل فى تاين **Tyne**. والذى كان جيوفيزيائيًا امتدت اهتماماته وراء الأرض إلى النظـــام الشمسى. ومع أن الچيوفيزياء كانت بعيدة جدًا عن مجال خبرتى، فكثيرًا ما جلست فى محاضرات كيث ومؤتمراته. وفى الاجتماع الخمـــسين لجماعـــة «النيـــازك أو الشهب» الذى عقد بنيوكاسل ١٩٨٧ والذى لا يمكن – وبصفة خاصة – أن أنـــساه باعتبارها المرة الأولى التى أتعلم فيها شيئًا عن نيازك وشهب المريخ.

والقطعة الأخيرة من هذا «الزجزاج» أو الطريق المتعرج والمتشابك جاءت فى بواكير التسعينيات، عندما انتقلت إلى أستراليا للعمل لجامعة أديليـــد **Adelaide**، وهناك أصبحت مهتمًا بما يجريـــه دنكـــان ســـتيل **Duncan Steel**، الخبيـــر فـــى

اصطدامات الكويكبات والمذنبات مع الكواكب. وكان له الفضل بتعريفي حقيقة أن المادة يمكن أن تُقذف من الكواكب من خلال الاصطدامات الكونية، وهي الفكرة التي قادت إلى نظريتي عن سفر العضويات الميكروسكوبية **Microorganism** من المريخ إلى الأرض أو العكس.

وعندما تهيأت لوضع هذا الكتاب كنت مقتنعًا بأن العلم أصبح قريبًا من كشف غموض «أصل الحياة». والدليل الدراماتيكي بأن الميكروبات تعيش هناك في العمق تحت الأرض، والذي عرفته لأول مرة من جولد، هذا الدليل يَعدُ بأن يكون وراء «الحلقة المفقودة» بين العالم قبل الحيوي الخاص بـ «الشوربة البيوكيميائية» وبين أول الخلايا البدائية. والحقيقة أن كثيرًا من العلماء في هذا المجال يعتقدون بثقة أن المشاكل الكبرى الخاصة بالنشوء الإحيائي قد تم حلها بالفعل، وثمة بعض الكتب التي نقلت لنا مؤخرًا الرسالة الواثقة بأن أصل الحياة ليس بالفعل بهذه الدرجة من الغموض بعد كل شيء(١٤). ومع ذلك أظن أنهم على خطأ. وبعد قضاء بعض السنوات باحثًا في هذا المجال أصبحت مع الرأي القائل بأن ثمة خليجًا عميقًا في بحر فهمنا. وللتأكيد، فإن لدينا فكرة جيدة عن «أين» و «متى» ولكننا لم نزل بعيدين جدًا عن «كيف» بدأت الحياة.

وهذا الخليج الذي أعنيه في فهمنا لا يتعلق بالجهل بتفاصيل تقنية معينة، ولكنه يمثل ثغرة أو فجوة في الفهم. ولست أقترح أن أصل الحياة عبارة عن واقعة طبيعية فائقة أو وراء الطبيعة، وإنما فقط أننا نفتقد شيئًا ما وأساسيًا جدًا في الأمر كله. وإذا كان الأمر كما يعتقد كثير من الخبراء والمتحدثين عن الأمر بأن الحياة مجبرة على النشوء بمجرد توافر المشارطات الصحيحة، فلا بد إذن أن أمرًا مدهشًا يقع في هذا الكون، شيء بارز وشديد الأهمية وله تشعبات وروافد فلسفية مهمة أيضًا. هذا وعقيدتي الشخصية عما يستحق هنا أن تكون هناك نظرية ترضينا جميعًا بصدد أصل الحياة والتي تحتاج أفكارًا جذرية جديدة، ربما نجدها في منطقة نظرية التعقيد ونظرية المعلومات، وكما اقترحت فربما تمتد إلى عمليات المعلومات الكمية بطريقة ما.

كثير من الباحثين يجدون حرجًا فى الإقرار العلنى بأن أصل الحياة يظل سرًا، وحتى خلف الأبواب المُغلقة، حيث يتمتعون بالحرية يجدون أنفسهم فى حالة من الحيرة والارتباك إزاء اعترافهم بذلك. ويبدو أن هناك سببين لهذا الحرج وتلك الحيرة. أولهما أن ذلك يفتح الباب للأصوليين الدينيين للقول بأن الله هو الخالق، الأمر الذى يفتقر إلى الأدلة بالمعنى العلمى وباعتبار أن ذلك يغلق الفجوة فى الفهم التى أشرت إليها. والثانى هو أن اعترافهم الصريح بالجهل سوف يُقوِّض اعتمادات التمويل، خاصة بالنسبة لبحوث الحياة فى الفضاء. ويبدو أن الحكومات مستعدة للإنفاق على البحث عن وجود حياة خارج الأرض، إذا كان العلماء معتقدين بأنها بالفعل موجودة هناك.

فى رأيى أن هذا السلوك ليس صحيحًا أو أنه يخلو من الرشاد. على العلماء أن يمضوا فيما هم فيه من أبحاث دون إعطاء أهمية للمبالغة فى الدعاوى المتعلقة بمجرد أن هناك هزالاً فى الدعم العام. والأهم من ذلك أن الجهل يمدنا بدافع أفضل للتجربة أكثر مما يفعل التيقن من الأشياء. ومن المهم أن نسعى إلى وجود الحياة فى عوالم أخرى، ومحاولة توليفها أو اصطناعها فى المعامل، خاصة أننا لسنا متأكدين من كيف وُجدت. وإذا كنت مصحًّا فى قولى، فإن هذا النشوء الإحيائى سوف يعطينا فكرة ولو ضئيلة عن أمر مدهش وهائل، لأن دراسة عوالم أخرى ربما تمكِّننا من الإمساك بالسر الملحوظ أثناء حدوثه. والعلماء مقتنعون بأن كواكب مثل زحل والزهرة وأقمار كل منهما تمثل معامل ضخمة للحالة قبل العضوية، حيث إن الخطوات التى أدت للحياة على الأرض قد تجمدت هناك مع الزمن، وكجزء يوازن بين مجال الكيمياء المعقدة من ناحية ومجال البيولوجيا من ناحية أخرى. وفى حالة المريخ فيبدو أكثر أن الخط بين اللا حياة والحياة قد تم عبوره، وأنه عند مرحلة ما فى الماضى ازدهرت الحياة فوق النجم الأحمر.

وحل لغز النشوء الإحيائى ليس مجرد مشكلة على قائمة ما يجب على العلماء عمله من مشروعات بحثية. ومثل أصل الكون وأصل الوعى، يقدمان لنا ما

هو أعمق لأنها اختبار لأساس وجهة نظرنا إزاء عالمنا. واكتشاف ما يعد بتغيير الأسس والمبادئ التى ينبنى عليها فهمنا للعالم الفيزيائى، تستحق أن نضعها بين الأولويات – فطالما حيّر سرُّ الحياة الفلاسفة والثيولوچيين والعلماء لأكثر من ٢٥٠٠ سنة، وفى العقد أو العقدين التاليين فلدينا فرصة ذهبية لأن نحقق تطورات كبرى فى هذا الميدان.

وبأخذ مِقْوَدِى أو مفتاح العملية من فرانسيس كريك[١٥]. وإشاراته فيما يعنى أن النشوء الإحيائى «يكاد يكون معجزة» فقد أعطيت عنوانًا لهذا الكتاب عند نشره لأول مرة عام ١٩٩٨ «المعجزة الخامسة» **"The Fifth Miracle"**، أما الطبعة المنقحة التى بين أيديك، فقد أعطيتها عنوان: «أصل الحياة» لتعكس محتوى الكتاب على نحو واضح. ولقد بقى العمل من دون تغييرات حقيقية، ولو أننى بالطبع جعلته أكثر بصيرة بشكل ملحوظ. وكثير من الحدوس التى ناقشتها فى ذلك الوقت وبدت أنها تتصدر الساحة قد دعمتها بأدلة جديدة يزداد الاقتناع بأنها قابلة للتصديق ولو ظاهريًا. وبشكل خاص فيما يتعلق بحالة تدعو للحيرة والقلق عن وجود مجال إحيائى تحت السطح، إمكانية وجود حياة فى الماضى أو الحاضر فوق المريخ، ثم إنتقال النظام العضوى الحى بين الأرض والمريخ. لقد قمت بتحديث النص هنا وهناك، وأدخلت ملاحظات تدعم هذه التطويرات الجديدة.

وفى مرحلة الإعداد للكتاب ومراجعته فقد استفدت على نحو ملحوظ من المناقشات التفصيلية المطولة مع كثير من زملائى المميزين. بعضهم أشرت إليه بالفعل. وثمة شكر خاص لكل من: سوزان بارنز **Susan Barns** وروبرت حنا فورد **Robert Hanna ford** وجون باركيز **John Parkes** وستيفن روز **Steven Rose** ومايك رسل **Mike Russel** ودنكان ستيل **Duncan Steel** ومالكولم والتر **Malcolm Walter**، الذين تفضلوا وقرأوا وعلقوا على مخطوطة الكتاب الأصلية. وثمة آخرون قدموا لى يد المساعدة قبل وبعد الطبع الأول للكتاب وهم:

Emma Bakes, Diane Addie, Derek Abbott, Roger Buick, Julian Brown, Daivd Blair, George Coyne, Benton Clark, Julian Chela-Flores, Susan Davies, Robert Crotty, Helena Cronin, Thomas Gold, Everet Gibson, Reza Ghadiri, Gerry Joyce, Richard Hoover, Monica Grody, Bernd-Olaf Küppers, Stuart Kauffman, Jay Melosh, Chris Mckoy, Clifford Matthews, Pauline Newman, Stonley Miller, Curt Mileikowsky, Martin Rees, Martin Redfern,Stanley Miller, Mithael Paine, Lynn Rothschild, J. William Schopt, Robert Shapiro, Leslie Orgel, Everett Shock, J. William Schopf, Lynn Rothschild, Normansleep, Robert Shapiro, Jeoffrey Shallit, Roger Summons, Karl Stetter, Lee Smolin, Martin Vankranendonk, Ruediger Vaas, Philippa Uwins, Chandra Wickramsinghe, Frances Westall, David Zare, Kevin Zahnle, Ian Wrigh.

وفى النهاية أحب أن أوجه شكرى إلى معهد الأستروبيولوجى فـى **NASA** ومديره باروخ بلومبرج **Baruch Blumberg** للتشجيع والدعم الذى قدمه لى، وكذا القائم على مركز أبحاث طيران الفضاء لكرم استضافته لى.

بول داقيز
المركز الأسترالى للفلك العضوى
جامعة ماكواير بسيدنى
سبتمبر ٢٠٠٢
http://aca.mq.edu.alpdavies.html

الهوامش

(١) حول أصل الأنواع **'On the Origin of Speices'**

لـــ: تشارلز داروين **"Charles Darwin" (John Murray, London 1859) ..**

(٢) الحياة ذاتها: طبيعتها وأصلها **'Life Itself. Its Nautre and Origin'**

لـــ: فرانسيس كريك **"Francis Krick» . (Simon & Schuster New York, 1981, p. 88).**

(٣) الغبار الحيوى **"Vital Dust"**

لـــــ: كريـــستيان دى دوف **Christian de Duve' ». (Basic Books, New York 1995).**

(٤) الانتقال الطبيعى للميكروبـــات المتنقلـــة فـــى الفـــضاء **Natural transfer of viable microbes in space** لـــ: كيرت ميليكوسكى وآخـــر **"Curt Mileikowsky et al» . (Icarus 145, 391 (2000)).**

(٥) الأحفورات الجانبة من المريخ القديم: توقيع غير مصقول للطبيعة البيولوجيـــة فـــى الحجـــر النيزكى المريخى **ALH 84001**

"Magnetofassils from ancient Mars: a robust biosignature in The Maritian meteorite ALH84001

لـــ: كاثى ل. تومامس –كيبترو وآخر. **'Kathie L. Thomas- Keptro et al.'**

(Applied and Enviranmental Microbiology 68, 3663, (2002)).

(٦) اقتباس فى «إنشاء أو تكوّن الحياة» The Creation of Life

لـــ: أندروسكوت "Andrew Scott". (Blockwell, Oxford 1986, p. 49).

(٧) معالجة فاينمان: مقدمة للحوسبة الكمية لـــ: جيرارد ميلبـــورن Gerard Milburn "The Feynman Processor: An Introduction to Quantum Camputotion" (Allen & Unwin, Sydney 1998).

(٨) الفيزياء الرياضية والحياة Mathematical physics and life

لـــ: أبورفا باتيل "Apoorva Patel" فى علوم الحوسبة والمعلومات: توجهات حديثة.

"Computing and Information Science: Recent Trends». (ed J. C. Misra, Narosa Publishing House, New Delhi, 2002, p. 270).

(٩) السحابة السوداء "The Black Cloud"

لـــ: فريد هويل "Fred Hoyle». (Penguin, Harmonds Worth 1960).

(١٠) احتمالية الوجود لوحدة تعيد إنتاج ذاتها "The probability of the Existence of a Self-reproducing unit" لـــ: أيجين ويجنـــر «Eugene Wigner» فـــى منطـــق المعرفة الشخصية "The Logic of Persanal Knowledge" (نسخة من دون اســـم أو مجهلة) (ed. Routledge & Kegan Paul London 1961, p. 231).

(١١) ما هى الحياة «?What is Life»

لـــ: إيروين شرودنجر "Erwin Schrödirger" (Cambridge University Press, Cambridge 1944).

(١٢) ومع ذلك فقد نوقش عمل كارتر «Carter» بشكل واسع فى مجال الأدب، انظـــر علـــى ســـبيل المثـــال: «مبـــدأ الأنطروبيـــا الكونيـــة The Anthropic Cosmological Principle» لـــ: جون بارو "John Barrow" وفرانك تبلـــر "Frank Tipler" (Clarendon Press, Oxford 1986).

(١٣) المبدأ الأنطروبى وبناء العالم الفيزيائى لـــ: ب. كار **B. Carr** وم. ج. ريس **M.J. Rees**

(Nature 278, 605 (1979).

(١٤) انظر على سبيل المثال: خطوات فى اتجاه الحياة **Steps Towards Life** لـــ: مانفريـــد إيجن **Manfred Eigen**

(Trans. P. Waolley, Oxford University Press, Oxford 1992). والغبـــار الحيوى لـــ: كريستيان دى دوف **Christian de Duve** **(Basic Books New York 1995)** مطابقًا للتعليق المتفائل الذى يقول به النشوء والذى يتحدّر من الاقتباس التالى: لـــيس ثمة شك فى أننا سنكتشف، واحدًا تلو الآخر، كل الخطوات فى المعمل... لنا الحـــق فـــى أن نكون متفائلين «فى الأصل والتطور وتوزيع الحياة فى الكون» **The origin, evolulion and distribution of life in the universe** فى النهايات الكونية ونهايـــات الإنـــسان «لـــ :سيريل بونامبيروما» **Cyril Ponnamperuma.**

(ed., Clifford Matthews and Roy Abraham Varghese), Open Court, Chicago 1955).

(١٥) مصطلح «الرب الذى يملأ الفجوات» **God of gaps** «استخدمه الثيولوجيون للإشارة إلى محاولات شرح «الفجوات» فى المفهوم العلمى للطبيعة من خلال تحركات مقدسة أو إلهية منتقاة.

الفصل الأول

معنى الحياة

تخيّل أنك قمت بالحجز لمقعد لك فى آلة زمن، للسفر بها فى الماضى وإلى الوراء أربعة بلايين من السنين. ما الذى سينتظرك هناك عندما تهبط من الآلة؟ لن توجد تلال خضراء ولا شواطئ رملية. لا جروف بيضاء ولا غابات كثيفة. الكوكب الشاب سوف يكون فيه قليل من الشبه مع ما نراه اليوم. وبالطبع ستبدو تسمية «الأرض» ذاتها كنوع من انتقاد صحة التسمية وبشكل جاد. ستكون تسمية مناسبة لو قلت «المحيط»، لأن العالم كله تقريبًا سيكون مغمورًا تحت طبقة عميقة من المياه الحارة. وليس ثمة تقسيم إلى قارات محددة تفرق بين بحر قاسى الطبع وآخر. وستجد هنا وهناك براكين جبارة – جميعها تنتشر على سطح المياه الساخنة تلك، نافثة سحبًا قوية وهائلة وكثيفة من الغازات الضارة. والجو فى عمومه ساحق ماحق وغير قابل للاستنشاق أو التنفس فيه. والسماء، لدى خلوها من السحب، ستكون مضاءة بنور شمس مميتة كرد الفعل الذرى، ومُغرقة للكوكب بأشعة فوق البنفسجية. وفى المساء تضيء السماء بشهب ونيازك براقة رائحة غادية عبرها. وبين حين وآخر تخترق هذه الشهب الجو الأرضى، غاطسة فى هذا المحيط، مثيرة عواصف عملاقة وأمواجًا عالية أشبه بأمواج «تسونامى» بارتفاع عدة كيلو مترات، وتتناثر أجزاؤها حول العالم من أثر الاصطدام.

وقاع المحيط العالمى ذاك لن يكون صخريًا كما نعلم أو نرى فى محيطاتنا الحالية. ثمة مجموعة من جهنمات متناثرة هناك تحت فى القاع، متقدة بنيران بدائية. وفى بعض الأماكن تتمزق (تتفتق) القشرة الأرضية عن صدوع واسعة تنبعث منها ألسنة اللهب ومصهورات البراكين لتقتحم المحيط. ولا يمنع مياه البحر

من الغليان سوى الضغط الهائل للطبقة الفوقية المغمورة فى متاهة فوهات ومنافـذ البراكين، المنشئة لوضع معقد من الاضطراب الكيماوى الذى يصل بـدوره إلـى عمق القشرة المنتفخة. وفى مكان ما من هذه الأعماق المتقـدة، وفـى التجـاويف المظلمة لقاع البحر، يحدث ما هو غير عادى، شيء مقدر لـه أن يعيـد تـشكيل الكوكب وربما الكون بأسره .. لقد ولدت الحياة.

ومما لا شك فيه أن الوصف السابق هو نوع من التفكير التأملى فـى كيـف كانت الصورة آنذاك. ولكن يبقى أنه يعنى واحدًا من السيناريوهات الممكنـة التـى أعطاها لنا العلماء عن أصل الحياة، وإنْ كان الشاهد أنه أقربها للتصديق، وهو مـا يتزايد التصديق به يومًا بعد يوم. ومنذ عشرين عامًا فقط، كان اقتـراح أن الحيـاة بدأت فى أعماق تلك البراكين المتقدة، نوعًا من الهرطقة، خاصة أن ذلك يعنى أنها بدأت بعيدًا عن الهواء وضوء الشمس. إلا أن الأدلة قد أبرزت أن أسلافنا القـدامى لم يزحفوا أو دبوا عبر الوحل والمياه الضحلة بقدر ما نشأوا عبر الحرارة الجهنمية تحت الأرض. بل ربما كان من يقطنون السطح، عبارة عن نـوع مـن الزيـغ أو الانحراف أو الشذوذ المتعلق بالظروف الخاصة بالأرض وقتئذ. وإذا كانـت ثمـة حياة فى مكان آخر من الكون فسوف تكون بالكاد تحت الأرض بالكامل وسيندر أن تمارس تشكلها على سطح أيٍ من الكواكب.

وعلى الرغم من أن ثمة موافقة مناسبة على أن التشكلات البيولوجية المبكرة كانت عبارة عن ميكروبات تحيا فى الأعماق، فإن الآراء تبقى منقسمة فيما بـين، عما إذا كانت الحياة بدأت من أعماق قشرة الأرض، أم أنها مجرد تواجدت هنـاك بشكل مبكر. لأنه برغم التقدم الهائل على مدى العقود الأخيرة فى مجال البيولوجيا الجزيئية والبيولوجيا الكيماوية، يستمر العلماء غير عارفين تأكيـدًا كيـف بـدأت الحياة. ولو أن ثمة خطوطًا عريضة لنظرية أصبحت متاحة، فنحن على مبعدة مما تحسبه تقدمًا تدريجيًا عن معرفة العمليات التى أحالت المادة إلـى حيـاة. وحتـى الموقع بالضبط الذى كانت فيه «حضانات» هذه العمليات، يمثل لغزًا يثير الغـيظ.

فلربما لم يكن أصل الحياة واقعًا على الأرض من أساسه، وربما جاءت الحياة إلـــى الأرض من الفضاء الخارجي.

والتحدى الذى يواجه نضال العلماء لشرح أو تفسير أصل الحياة، يتمثل فـــى الحاجة إلى وضع قطع بجوار بعضها البعض من الوقائع والأحداث التى حدثت منذ بلايين السنين، والتى لم تخلف وراءها إلا القليل مـــن الآثـــار، أو نَفَـــذَت الآثـــار بصددها كليةً. لعله هدف مروع أو مثبط للهمة. و على سبيل الحظ فقـــد تـــم فـــى السنوات القليلة الماضية، وضع صورة لطبيعة الكائنات البدائية التى وُجدت علـــى الأرض، وأُستحدثت مجموعات جديدة من التجارب المعملية أدت إلى فهم الصورة الباكرة فى النظام الشمسى. هذا وتعتبر إعادة إحياء فكرة إمكانية الحياة على المريخ سببًا فى توسيع الأفكار عن الشروط الضرورية للحياة. كل هذه التطورات مجتمعة، رفعت من مستوى البحث من مجرد بحوث تُجرى فى الخلفية إلى بحـــوث تُمثـــل المجرى الرئيسى لمشروعات البحث.

ومشكلة كيف ومتى بدأت الحياة، تمثل واحدة من أكبر الغوامض المدهـــشة فى العلم. والأكثر من ذلك أن قصة أصل الحياة تمتد تـــشعباتها وروافـــدها إلـــى الفلسفة، وإلى الدين وإلى الإجابة عن مثل هذه الأسئلة الشَّماء، مثل عمـــا إذا كنـــا الكائنات الواعية الوحيدة فى الكون، وعما إذا كانت الحياة قد جاءت نتيجة حادثـــة عشوائية أو قانون عميق الجذور، أو ربما ثمة نوع من المعنى المطلق لوجودنـــا، يعتمد على ما يمكن أن تحسمه كشوف العلم حول تشكل الحياة.

وفى مثل هذا الموضوع المشحون بقوة بمثل هذه المعانى، يصبح من غيـــر المدهش أن نفتقد حس الإجماع فى الأمر. فبعض العلماء ينظرون إلى الحياة كنزوة كيماوية غريبة وفريدة فى الكون. بينما يصرّ بعض آخر على أنها النتاج المتوقـــع للقوانين الطبيعية الرائعة والفاتنة. وإذا كان هذا الصرح العظيم للحياة هـــو نتيجـــة العشوائية والانعطافات الحادة والمحصنة لأحداث القدر، وكما ادعـــى البيولـــوچى الفرنسى جاك مونو **Jacques Monod**، فإن علينا أن نجد سببًا عامًا بالتأكيد لإلحاده الواضح، مُعبّرًا عنه جيدًا فى هذه الكلمات[١]:

«الغطاء القديم ممزق إلى قطع: عرف الإنسان أخيـرًا أنـه وحيد فى الاتساع الهائل غير المحسوس للكون، والذى برز عبـره بالمصادفة. ولا قَدَر له أو واجب عليـه سـبق أن تقـرر أو كُتـب بشأنه».

ولكن إذا كان مرشحًا أن الحياة ظهرت بدرجة – أكثر أو أقل – كجزء مـن عمق قانونية الكون، وإذا ما كانت مكتوبة خلال الدراما الكونية العظمـى بطريقـة أساسية – فإنها إذن تمثل إشارات إلى كون له هدف. وعلى الجملة فإن أصل الحياة هو المفتاح لمعنى الحياة.

وفى الفصول القادمة سوف أختبر بعناية آخر دليل علمى كمحاولة لمواجهة هذه المشروعات الفلسفية المثيرة للجدل. كيف كان الكون متعاطفًا بيولوجيـا؟ هـل الحياة ظاهرة تتفرد بها الأرض؟ كيف أن أشياء معقدة، مثل حتى أبسط التكوينـات العضوية يُمكن أن تنتج عن عمليات فيزيائية مباشرة؟

الأصل الغامض للحياة:

«يبدو أن أصل الحياة... تقريبًا معجزة، فكم هى الشروط العديدة التى كـان متوجبًا تحققها لكى تمضى الحياة فى طريقها»[٢]. هكذا يقـول فرانـسيس كريـك **Francis Crick**. وطبقًا لسكان أستراليا الأصليين فى كمبرلـى **Kimberely** عـن وقت إنشاء أو خلق اللالاى **Lalai**[*] فإن المسيطر على المجرة وصـانع الأرض، سمح للمياه الطازجة بأنْ تسقط على ثعبان الأرض العملاق «وانجـود» **Wunggud**. والذى كان جسده مصنوعًا كعنصر ملفوف داخل كـرة مملـوءة بمـا يـشبه مـادة «الجيلى» والمسماة نجالالا ياوون **nagallall ywon** وبتلقيه هـذه الميـاه المنعـشة، تحرك زانجود، محدثًا انخفاضًا أو ضعفًا كمرآب يجمع فيه الأرض. حينئـذ صـنع

(*) من المرجح أنه اسم الله لدى السكان الأصيليين فى أستراليا. (المترجم).

المطر، وأنشأ العمليات الإيقاعية المتناغمة للحياة: الفصول، دورات الإنتاجية، دورات الطمث (الحيض) وشكلت قواها الإبداعية الإطار العام للمشهد ومنحت القوة لكل المخلوقات النامية والتى بقى محتفظًا هو بالهيمنة عليها[٣].

وكل الثقافات لديها أساطيرها عن عملية الخلق وبعضها نابض بالحيوية عن بعضها الآخر. وقد نظرت، أو وجهت الحضارة الغربية لعدة قرون، نظرها إلى الكتاب المقدس للحصول منه على الاستنارة فى هذا الموضوع. وللأسف فإن الكتاب المقدس يصبح أقل رقة وبطريقة مثيرة للإحباط بجوار القصة الأسترالية: خلق الله الحياة بصورتها الحالية تقريبًا وبطريقة مباشرة، كما المعجزة الخامسة.

وليس بعيدًا من كيمبرلى، وعبر الصحراء الرملية الكبرى وعبر جبال بلبارا **Pilbara**، وجدت أقدم أحفورة معروفة على الأرض. هذه البقايا المدهشة شكلت جزءًا من تقديرات العلم عن «الخلق». وكنقطة بداية فقد اعتبر العلم أن الحياة ليست من صنع الله الخالق ولا أى كائن فوق طبيعى، وإنما حدثت الحياة من دون مساعدة من أحد، وإنما كعملية طبيعية صدفوية أو عضوية.

وعبر القرنين الأخيرين فقد عانى العلماء من تجميع وتثبيت القطع المتناثرة من تاريخ الحياة. وأظهرت تقارير الأحافير بوضوح أن الحياة القديمة تختلف بشدة عن الحياة الموجودة بالفعل. وبطريقة مباشرة فإنك كلما ابتعدت إلى الوراء زمنيًا، وجدت الحياة أبسط وأبسط بالنسبة للكائنات قاطنة الأرض. والتكاثر المثمر والمعقد من أشكال الحياة لم يقع إلا فى البليون سنة الأخيرة. هذا وأقدم أحفورة حيوانية حقيقية موثقة وجدت أيضًا فى أستراليا (فى جبال الفلندرز **Flinders Mountains** شمال أدليد **Adelaide**) ويرجع تاريخها إلى ٥٦٠ مليون سنة، وبعد هذا العصر بوقت قصير، منذ حوالى ٥٤٥ مليون سنة مضت، بدأ انفجار حقيقى للأنواع، وبلغت أَوْجُهَا فى استعمار الأرض بواسطة نباتات وحيوانات عملاقة، كما تشكلت الحياة وقتئذ فى نظم عضوية وحيدة الخلية.

هذا السجل من التعقيد والتنوع مشروح جيدًا فى نظرية دارون عن التطور، والتى رسمت صورة للأنواع المستمرة فى التفرع وإعادة التفرع، لتشكل المزيد والمزيد من الامتدادات والأنسال، وعلى سبيل الحديث فإن هذه الأنسال أو الذرية تتقارب وتدور حول أصل واحد. والدليل القوى الذى يؤكد أن الحياة على الأرض تتحدد عبر هذا التفرع من سلف أو أصل واحد يتحصل فى أن كل امرئٍ وكل حيوان وكل نبات وكل باكتيريا غير مرئية، يمكن تعقب أصلها فى الميكروب الصغير جدًا الذى عاش منذ بلايين السنين، حيث كان هو أول الأحياء(٤). أما ما يبقى محتاجًا للتفسير، ويشكل الجزء المركزى فى متاهة الحقيقة العلمية عن الحياة، هى كيف أصبح الميكروب الأول موجودًا، أو بمعنى آخر كيف جاء للوجود؟

والذى يبدو للعيان أن التعمق الزائد فى المسألة من شأنه زيادة عمق السر. إن الخلية الحية هى أكثر النظم فى حجمها تعقيدًا لدى البشرية. إنها تحتضن جزيئات متخصصة، لا يمكن العثور عليها هنا أو هناك، وإنما فقط فى المواد الحية، وهى نفسها غاية فى التعقيد. إنها تنفذ ما يشبه الرقصة المختارة بعناية والدقيقة لأبعد حد، والإخلاص الكامل، والانضباط الأقصى، وهى صفات تخطف الأنفاس وتتعاون معًا فى أوركسترا متناغم، وبشكل أوسع وأكبر كثيرًا من أعقد «الباليهات»، ورقصة الحياة تلك، تشمل ما لا يمكن إحصاؤه من الجزيئات المتعاونة معًا بشكل كامل. ولو أن هذه الرقصة لا إشارة فيها لأى مسئول عن وضع الألحان. لا مشرف عبقريًا ولا قوة سحرية، ولا إدارة واعية تزوجج الجزيئات، لتختار منها الصالح وفى الوقت المناسب، وتغلق الفجوات، ولا تزاوج بين الشركاء، ولكن تدفعهم للأمام. رقصة الحياة تمضى بشكل تلقائى وعضوى، خالقة ذاتها ومستمرة بذاتها.

كيف يمكن لشىء أن يبلغ هذه الدرجة القصوى من التعقيد؟ وهذه البراعة والدقة البالغة، وهذه المهارة الفائتة شديدة الحساسية، وكل هذا يأتى للوجود بذاته؟ وكيف للجزيئات – غير العاقلة – أن تصبح قابلة فقط للدفع والجذب مع جيرانها المباشرين، ليتعاونوا فى الإبقاء على شىء فى عبقرية حياة النظم العضوية الحية؟

وحل هذه الأحجية يتطلب الخوض فى عدة أنظمـــة، تـــأتى علـــى رأســـها البيولوچيا، ولكن أيضًا مجالات الكيمياء، والچيولوچيا، والفلك، والرياضيات وعلوم الكمبيوتر (الحوسبة الإليكترونية)، والفيزياء، كل منها له مساهماته فى الأمر علـــى نحو أو آخر. وحتى فى التاريخ. قلة من العلماء تعتقد أن الحياة بدأت بقفزة حـــدثت فى لحظة تاريخية فريدة. فلا وجود لعملية فيزيائية قادرة علـــى التـــنفس الحيـــوى داخل المادة بطريقة مفاجئة. ولا بد أنه كانت هناك مرحلة انتقالية معقدة وطويلـــة بين الجماد والأشياء الحية، عندما وجدت لأول مرة، أحداث ممتدة ومتعاقبة زمنيًا، لا يبدو أنها كانت مقدرة لعدد لا يحصى من التفاصيل. وقانون الطبيعـــة لا يكفـــى وحده لشرح أو تفسير كيف بدأت الحياة، لأنه ليس ثمة قـــانون مفهـــوم أو يمكـــن إدراكه قد يجبر حشدًا من الذرات على أن تتبع منهجًا موصوفًا مُحدَّدًا مسبقًا، بينما تطيع أو تستجيب لقوانين الطبيعة، لا بد أن الطريق الفعلى الذى اتخذته الحياة كـــان صدفويًا وخاضعًا للظروف أكثر من مجرد انصياعه لقوانين الطبيعة، أى أنه نتيجة للمصادفة غير المتوقعة، كما يطلق عليها أهل الفلسفة. وبسبب هذا وبسبب جهلنـــا بالشروط التى سادت فى الماضى البعيد، فلن نعرف أبدًا بالضبط ما الحادث الـــذى أنتج الحياة فى شكلها الأول.

ومع ذلك فإن غموض الإحياء العضوى يذهب إلى مستوى أكثر عمقًا مـــن مجرد الجهل بالتفاصيل. لأنه ثمة مشكلة عويصة تتعلق بطبيعة الحياة. وهناك على مكتبى «أباجورة» من تلك التى كانت شائعة فى ستينيات القرن الماضى، محتويـــة على سائلين مختلفى اللون ولا يختلطان، نقاط سائل منهما تنتشر ببطء عبر السائل الآخر. وفى العادة فالناس تعبر عن مسلك هذه النقاط على أنه شبيه بمسلك الحيـــاة. والحاصل أن هذه الأباجورة ليست وحدها فى هذه الشأن، وإنما عديد مـــن الـــنظم غير الحية لها خصائص تشبه الخـــصائص الحيـــة، شـــتلات اللهـــب الخفاقـــة أو المترجرجة، كتل الثلج المتساقطة، نماذج من السحب، دوامات التيارات المعاكـــسة فى نهر ما. ما الذى يميز إذن النظام العضوى الحى حقيقة، عن النظم التى مجـــرد

تشبهها فى السلوك ولكنها غير حية؟ ليس الأمر ببساطة مجرد اختلاف الدرجة؟ إنما هناك اختلاف حقيقي بين طبيعة الشيء الحي بالفعل والشيء الذى فقط مجرد شبيه به ولكن من دون حياة فعلية. إذا ما رقدت فرخة فوق بيضة، فسيكون رهانًا عادلاً أن الصغير النابت ريشه توًا فى مخبئه سيصبح هو أيضًا فرخة. ولكن حاول أن تتنبأ بشكل قطعة الجليد المتساقطة القادمة كيف سيكون بالضبط. الفرق الحاسم هنا أن الفرخ الجديد قد تم صنعه طبقًا لتعليمات جينية محددة. بينما نقاط سائل الأباجورة، وقطع الثلج المتساقط، ودوامات النهر، جميعها سوف تَتشكّل شاءت هى أو أبت، أى على نحو يعوزه التقرير المسبق. فليس ثمة جينات فى قطع الجليد. والتعليمات المكوِّنه للتعقيد البيولوجى تكون معقدة بدورها، وباستخدام اللغة الحديثة فى هذا الشأن، فإن التعقيد مبنى على قاعدة معلومات معقدة. وعبر الفصل التالى سوف أناقش أنه لا يكفى أن نعرف كيف ظهرت تلك التعليمات المعقدة، بل يجب أن يمتد اهتمامنا إلى أصل المعلومات البيولوجية. وكما سنرى فإن العلماء مازالوا بعيدين جدًا عن حل هذه المتاهة – المفهومية الأساسية. وبعض الناس يبتهج لهذا النوع من نقص المعلومات، باعتبار أن ذلك يفتح الباب لخلق إعجازى. ومع ذلك فإن وظيفة العلم أن يحل الألغاز دون اللجوء إلى مصدر مقدس يهيمن على الأشياء. ولكن العلماء لا يزالون غير متيقنين من كيف بدأت الحياة.

لا يعنى هذا أن الحياة ليس لها أصل طبيعى. كيف للمرء أن يذهب فى طريق حشد، أو تركيب تقديرات علمية حول المسألة الإحيائية أو نشوء الحياة؟ يبدو هذا الهدف وكأنه لا أمل فيه لأول وهلة. لأن الوسائل التقليدية فى السعى وراء الأحافير الصخرية تقدم لنا قليلاً من المفاتيح. معظم الجزيئات «قبل الحية»، والتى مهدت لظهور الحياة، سبق أن تم استئصالها أو اجتثاثها منذ مدة طويلة. وأحسن ما يمكن أن نأمل فيه هو بقايا تدرج كيميائى من النظم العضوية السابقة، والتى منها برز النسيج الخلوى الحى المألوف لنا.

وإذا كنا سنعتمد فقط على الأحافير الصخرية، فإن هدف فهم أصل الحياة والتطورات المبكرة للحياة سيكون هدفًا هائلاً ومرعبًا بالطبع. ومن حسن الطالع أن ثمة خطًا آخر من الأدلة، يساعد الخط السابق. إنه يمتد بدوره إلى الماضى المظلم البعيد، ولكنه يوجد هنا والآن، داخل بعض أشكال الحياة التى لا تزال باقية. يقتنع البيولوجيون بأن بقايا أو تذكارات باقية من النظم العضوية الحية القديمة، تعيش فى العمليات البيوكيماوية لأخلافهم، ومن بينهم الإنسان. وبدراسة كيف تعمل الخلية الحديثة يمكننا أن نلقى نظرة خاطفة على بقايا حياة السلف وهى تعمل – جزىء فريد أو مميز هنا، رد فعل كيميائى ناقص على نحو ما هناك – هى ذات الطريقة الخارجة على المكان، أجزاء صدئة من الأرض أو واهنة، ركام مشكوك فيه، أى تغيرات فى الأركيولوجيا (علم طبقات الأرض). وهكذا نجد واسطة بين تعقيدات العمليات التى تجرى فى الحياة العضوية الحديثة وآثار نضال الحياة البدائية، وتشكل معبرًا بيننا وبين ماضينا البعيد. وبتحليل هذه الآثار الغامضة، وجد العلماء خط البداية لإعادة بناء وتشكيل الطرق الفيزيائية والكيميائية التى قد تكون أدَّت لوجود أول خلية حية.

وحتى مع هذه المفاتيح البيوكيماوية، تظل إعادة الإنشاء ذاك معتمدة بشكل كبير على التخمين لولا الاكتشافات التى حدثت أخيرًا لما يمكن أن تطلق عليه «أحفوريات حية» معينة، وهى تلك الميكروبات التى تقطن أماكن شاذة وبيئات غاية في التطرف، وأعنى بها الحشرات العملاقة **Superbugs** والتى تسمى عادة إكستريموفيلز **extremophiles** والتى أُخضعت للفحص الكثيف، والتى أحدثت نوعًا من التنوير فى الميكروبولوجى. وهى ربما تكون بحالتها هذه هو ما نلقى عليه نظرتنا الخاطفة كميكروبات شاذة وغريبة، بينما هى قريبة كل القرب للحالة العضوية البدائية التى «باضت» لنا الحياة على الأرض. هذا وربما يأتينا مزيد من المفاتيح عبر البحث عن الحياة على المريخ والكواكب الأخرى، ودراسة المذنبات والشهب النيزكية. وبوضع كل خيوط الأدلة كقطع متجاورة، فلربما تسمح لنا بإمكانية استنتاج أو استقراء، فى خطوط عريضة على الأقل، ما هى الطريق التى ظهرت عبرها الحياة فى الكون أول ما فعلت.

من المهم قبل أن نمسك بتلابيب المشكلة أن تكون لدينا فكرة واضحة عما هى الحياة؟ منذ خمسين عامًا مضت كان العلماء مقتنعين بأن لغز الحياة قد أصبح قاب قوسين أو أدنى. وميز البيولوجيون أو تعرفوا على أن المفتاح يكمن فى مكونات الجزىء داخل الخلية. وكان الفيزيائيون فى ذلك الوقت، قد فسروا تمامًا تشكيل المادة على المستوى الذرى، وبدا أنهم قريبًا ما سيجدون سر الحياة أيضًا.

وتم وضع الأجندة (الأفكار مرتبة حسب آلياتها أو أولوياتها) بنشر كتاب إيروين شرودنجر **"Erwin Schrödinger"** «ما هى الحياة؟» **What is Life?**، وبدا فى ذلك الوقت، أن الحياة ليست أكثر من آلة متجمعة من أجزاء ميكروسكوبية يمكن دراستها باستخدام التقنية الخاصة بالفيزياء التجريبية. وثمة أبحاث تتصف بالحذر وبالاحترام استسلمت لهذه الوجهة من النظر. لقد تعرضت الخلية لرواية كثير من الأكاذيب عنها كآلة صغيرة جدًا أو منمنمة الطابع. ومع ذلك فإن صورة الخلية اليوم كأنها ليست سوى آلة معقدة جدًا تعتبر نظرة ساذجة. ولكى تكون متأكدًا، فإن البيولوجيا الجزيئية قد حققت نجاحات باهرة، إلا أن العلماء لا يزالون غير واثقين تمامًا، فالذى يمكن أن يضعوا أصابعهم عليه ذلك الذى يفرق بين نظام عضوى حى وبين النماذج الأخرى من الأشياء الفيزيائية. والتعامل مع النظام العضوى كآلية قد حقق وبرهن بلا شك على ثمار عديدة، ولكن من المهم ألا نلتصق بسحر هذا النجاح. التفسير الميكانيزمى أو الآلى هو جزء مهم لفهم الحياة، ولكنه لا يمثل القصة كلها.

ودعنى أعرض عليك مثالاً حاسمًا على أين تقع المشكلة؟ تخيل أنك تقذف فى الهواء بطائرين، أحدهما حى والآخر ميت، فإن هذا الأخير سوف يسقط على الأرض، محدثًا صوتًا مكتومًا وعلى بعد عدة أمتار قليلة ممكن حسابها. أما الطائر

الحي فسوف ينتهي به الأمر باستعدال «عامود الإدارة» خاصته مستمرًا إلى أعلى مستقرًا على أي هوائي تليفزيون فوق أي بيت في البلدة، أو على فرع من فروع إحدى الأشجار، أو على سطح سياج شجري لأحد المنازل، أو في عش. وهكذا يبدو من الصعب أن تخمن مسبقًا إلى أين سينتهي به الأمر بالضبط.

وأنا كفيزيائي اعتدت على التفكير في الأشياء أو المواد على أنها قابلة للتأثير على غيرها في نفس الوقت الذي تقبل التأثير فيها من غيرها، وأن الاستجابة في المجالين تكون عندما يتم إجبارها من قبل قوة خارجية – مثلما في حالة الطائر الميت عندما انهمد على الأرض بتأثير شد من جانب قوى الجاذبية. ولكن المخلوقات الحية لديها «حياة» بالمعنى الحرفي، خاصة بها هي. كما كانت تشتمل في داخلها على شرارة أو ومضة تمنحها الاستقلالية أو السيطرة الذاتية، حتى إنها تستطيع (ومن دون حدود) فعل أيّ مما يرضيها. حتى الباكتيريا فهي تقوم بما هو متطلب فيها ومنها وبطريقة صارمة. هل تكون هذه الحرية الداخلية، هذه التلقائية تعني أن الحياة تتحدى قوانين الفيزياء أو أن الحياة العضوية تعتبر هذه القوانين مجرد عدة أو جهاز روتيني تستخدم قوانينه في تحقيق ما تبتغيه؟ إذا كان الأمر كذلك، فكيف؟ وإلى أين تكون نهايات هذه الرغبات، بل من أين تأتي من عالم محكوم ظاهريًا بقوى عمياء لا هدف لها؟

هذه الخاصية المتعلقة بالاستقلال الذاتي، أو الحكم الذاتي يبدو أنها تلمس أكثر العناصر غموضًا والتي تُفرِّق بين الأشياء الحية والأشياء غير الحية، ولكنه من الصعب معرفة من أين تأتي. ما الخواص الفيزيائية للنظام العضوي الحي التي تمنحه هذه الاستقلالية؟ لا أحد يدري.

الاستقلالية والحكم الذاتي يعتبران سمة مهمة للحياة، ولكن هناك سمات عديدة أخرى من بينها ما يلي:

إعادة النسخ Reproduction: النظام العضوى الحى لا بد أن يكون قابلاً لإعادة النسخ. وبالرغم من أن بعض الأشياء غير الحيّة مثل البللورات يمكنها أن تُعيد النسخ، بينما الفيروسات التى يعتبرها كثير من الناس أنها من الأحياء، فهى غير قادرة على التكاثر وحدها. البغال بالتأكيد هى من بين الأحياء ومع ذلك فهى عقيمة ولا يمكنها إعادة النسخ. والإثمار الناجح هو أكثر من مجرد نسخة طبق الأصل من الأصل وإنما لا بد أن يحتوى بدورها على نسخة من جهاز النسخ أيضًا. ولكى ينتشر التوالد وينتقل إلى الذرية فى جيل تالٍ فلا بد من إعادة نسخ وسائل إعادة النسخ فى نفس وقت إعادة نسخ الجينات ذاتها.

الأيض (الهضم) Metabolism(*): لكى تصبح حيًّا على وجه صحيح فإن على النظام العضوى أن يفعل شيئًا. كل عملية كيماوية للنظام العضوى تنتقل عبر ردود فعل وتتابع معقّد. وكنتيجة لذلك تقوم بتكديس الطاقة، لتجعلها قابلة للقيام بأهدافها مثل الحركة وإعادة النسخ. هذه العمليات الكيمائية وتحرير الطاقة تسمى «الهضم أو الأيض"، ومع أن ذلك لا يمكن معادلته بالحياة. لأن بعض النظم العضوية الصغيرة (الميكرو) يمكنها أن تصبح معلقة أو ساكنة لمدة طويلة مع توقيف كل وظائفها الحيوية. وسوف نعترض على اعتبارها من الموتى إذا كان ممكنًا أن تعود إليها الحياة.

الاغتذاء Nutrition: وهذا قريب بدوره من الأيض. فإذا أنت احتبست نظامًا عضويًا حيًا داخل صندوق مانع لتسرب الغاز أو أى شىء آخر، فخلال قدر معين من الوقت ستجد وظائف هذا النظام قد خفتت وفى النهاية سيموت. إذن من الحاسم للحياة أن يكون ثمة إمداد دائم بالأشياء والطاقة. وعلى سبيل المثال فإن الحيوانات تأكل، والنباتات تخضع لنظام التركيب أو التمثيل الضوئى **Photosynthesize**. ولكن تدفق المادة والطاقة وحدهما لا يكفى للإمساك بعملية

(*) الأيض باختصار هو العمليات الكيميائية فى الخلايا الحيّة التى تؤمن بها الطاقة الضرورية للعمليات الحيّة، والتى بها تُعوّض الطاقة المفقودة (المترجم).

الحياة. البقعة الحمراء الكبيرة لكوكب الزهرة عبارة عن دوامة من السوائل تبقى في دورانها بسبب تدفق المواد والطاقة. ولا أحد يقترح أنها حية. بالإضافة إلى أن الحياة لا تحتاج فقط للطاقة، إنما إلى شيء ما مفيد، أو طاقة حرة (مزيد من المعلومات عن ذلك ستجرى مناقشته فيما بعد).

التعقيد Complexity: كل النماذج المعروفة للحياة هى معقدة بشكل مدهش. حتى النظم العضوية وحيدة الخلية مثل الباكتيريا فهى تشتمل على أنشطة مزدحمة تتكون من ملايين المكونات. وجزئيًا فإن هذا التعقيد هو الذى يضمن عدم قابلية العضو للتنبؤ بخياراته. ومن الناحية الأخرى فإن الإعصار والمجرة هما معقدان بدورهما، والإعصار معروف بعدم إمكانية التنبؤ بسلوكه. والكثير من النظم الفيزيائية غير الحية هى من التعقيد بحيث يصعب التنبؤ بسلوكها، بل وحتى يمكن أن تكون فوضوية الطابع **random**.

التنظيم Organization: ربما ليس التعقيد فى ذاته هو الذى له معنى فى الأمر. ولكن التعقيد المنظم. ومكونات أى نظام عضوى لا بد أن تتعاون مع بعضها البعض وإلا ستداعى وظائف النظام ككيان متماسك. وعلى سبيل المثال فإن مجموعة من الشرايين والأوردة لا تكون نافعة وحدها من دون قلب يضخ فيها الدم. وزوج من السيقان لن يعرف تقدمًا فى الحركة لو أن كل ساق منهما تتحرك وحدها وفى اتجاه مغاير للأخرى. وحتى داخل الخلايا المستقلة فإن درجة التعاون مدهشة. فالجزيئات لا تجرى فى حياتها هكذا بشكل صدفوى، ولكنها تُبدى نوعًا من أشكال المصانع أو خطوط الإنتاج داخل مصنع مع مستوى عال من التخصص: قسم للعمالة، وقسم يدير هذه العمالة لكى تتم عملية الإنشاء على وجه صحيح.

النمو والتطور Growth and development: النظم العضوية الحية المستقلة تنمو، والنظم المحاكية لها تميل إلى الانتشار (إذا كانت المشارطات صحيحة). ولكن كثيرًا من الأشياء غير الحية تنمو بدورها (البللورات، والصدأ، والسحب). هى سمة بارعة ورقيقة ولكنها تعطى معنى كخاصية للأشياء الحية،

وتُعامل على أنها مستوى للتطور. إن القصة المشهورة عن الحياة على الأرض هى واحدة من التكيف التدريجى الثورى، كنتيجة للتنوع والجدّة. التنوع هو المفتاح. إنها إعادة النسخ متضمنة التنوع هى وحدها التى تقود إلى التطور الداروينى. وربما نعتبر أننا نقلب المسألة رأسًا على عقب بأن نقول: إذا ظهرت بالطريقة التى وضعها دارون، فهى ستعيش.

احتواء المعلومات Information content: فى السنوات الأخيرة ركز العلماء على المشابهة بين النظم العضوية الحية والكمبيوترات. إنّها مسألة حاسمة أن المعلومات ستكون محل احتياج فى إعادة نسخ نظام عضوى معتمدة على الجينات المنقولة من الآباء لكى يحققوا الإثمار أو نماء الذرية. وهكذا فإن الحياة هى تقنية معلوماتية مكتوبة بخط صغير. ولكن مرة أخرى فإن المعلومات على هذا النحو لن تكون كافية. ثمة معلومات اعتراضية تعنيها الأوراق الساقطة فى الغابة، ولكن هذا لا يعنى شيئًا. لكى تكون المعلومات قَيِّمة فى مجال وصف الحياة لا بد أن تكون معلومات لها معنى للنظام الذى يستقبلها: لا بد أن ثمة «كتابًا» معينًا. وبكلمات أخرى فلا بد أن تكون المعلومات متخصصة. ولكن من أين جاء هذا الكتاب؟ وكيف لهذا التخصص النافع أن ظهر عفويًا فى الطبيعة؟

تشابك النظم المنظورة وغير المنظورة Hardware / Software entanglement: كما سنرى فإن كل أنواع الحياة التى وُجدت على الأرض جاءت أرومتها أو نسبتها السلالية من صفقة مغلقة بين نوعين مختلفين فى المستوى من الجزيئات: الأنوية الحمضية والبروتينات. وكل منهما يجير الآخر ليس على مستوى الخواص الكيميائية فقط، وإنما يذهب العقد بينهما إلى ما هو أبعد من ذلك، إلى قلب ما تعنيه الحياة، أو ما نعنيه بالحياة. الأنوية الحمضية تقوم بتخزين ما يمكن أن نسميه «سوفت وير» الحياة (الجزء غير المنظور) بينما البروتينات هى «الشغّيلة» الفعلية التى تنشئ ما يمكن تسميته «الهاردوير» (الجزء المنظور). وهذان المجالان الكيماويان يدعم كل منهما الآخر لأن هناك اتصالاً عالى

التخصص والتقنية عبر قناة تتوسط بينهما، من خلال شفرة مسماه «الشفرة الجينية» هذه الشفرة وقناة الاتصال تلك كليهما يطوران نتاجًا لهما، له تأثير تطوير السوفت وير والهاردوير للحياة بطريقة تثير الارتباك والتناقض.

الدوام والتغيّر Permanence and change: ومتناقضة أخرى للحياة تتعلق بالرابطة بين الدوام والتغيّر. هذه المتاهة القديمة أحيانًا ما يـشير إليهـا الفلاسـفة لمشكلة كيف نصبح سماويين. إن وظيفة الجينات هى إعادة النـسخ، أى أن تحفـظ الرسالة الجينية. ولكن من دون تنوع، ومن دون تكيّف، فسوف تزوى الجينات فى النهاية: تكيّف أو مت؟ وهو الأمر الداروينى. ولكن كيـف يتواجـد «الحفـظ» و «التغير» فى نظام واحد؟ هذا التناقض يقع فى قلب البيولوجيا. الحياة تزدهر علـى الأرض بسبب التوتر الإبداعى الموجود بين هذين المطلبين المتصارعين، ولكننـا نظل من دون فهم كامل لكيف تتم المباراة.

وسيكون واضحًا أن ليس ثمة إجابة سهلة للسؤال الذى طرحه شرودنجر: ما الحياة؟ ليس ثمة تعريف بسيط أو خاصية بسيطة تميِّز بين الحى وغير الحى. ربما الأمر كذلك لأن العلماء يقدمون العالم الطبيعي كوحدة. وأى شيء يؤدى لوضع حد فارق بين الحى وغير الحى يخاطر بانحيازنا تجاه الاعتقاد بأن الحياة هى غموض أو سحر، أكثر منها منتسبة للطبيعية بالكامل. إنها خطأ كامل أن نسعى وراء خـط فاصل بين النظم الحية والنظم غير الحية. حيث لا يمكنك أن تنزع الريش المـرقط أو المزين لعنق الطائر ثم تعرفه بقلب الحياة غير القابل للإنقاص، مثـل جـزىء معين. ليس هناك شيء مثل الجزىء الحى، فقط نظام عمليات جزيئية يمكن أخذها بشكل جمعي، وهى التى يمكن وصفها بالحياة.

يمكننى تلخيص هذه الخصائص عن طريق الإقرار بأنه يبـدو أن الحيـاة، وبشكل عام، تتعلق بعاملين حاسمين: الأيض وإعادة النسخ. ونستطيع أن نرى ذلك فى حياتنا نحن. لأن أهم أربعة أشياء أساسية يفعلها الكائن الحـى هـى: التـنفس، والغذاء والشراب، والإخراج، والجنس. الثلاثة الأولى منهـا ضـرورية للأيـض

والأخير ضرورى لإعادة النسخ. ومن المشكوك فيه أن تجمعًا من الـذوات لـديها أيض من دون إعادة نسخ أو لديها إعادة نسخ من دون أيض يمكن أن نصفه بالحياة بالمعنى الكامل للكلمة.

قوة الحياة.. وملاحظات غير قابلة للتصديق

بهذه السمات المراوغة للحياة، فإنه لا يدهشنا أن يلجأ بعض الناس لتفسيرات أو تأويلات ذات مصدر روحى أو صوفى لإيضاحها، ربما تم حشو أو انغرس فى النظم العضوية نوع من الجواهر أو الخلاصة أو الروح التى بعثت فيها الحياة؟ إن الاعتقاد بأن الحياة تتطلب جزءًا تم لها من شيء مفارق وراء وأكبر من أنها مـادة عادية تطيع على نحو عادى القوانين الفيزيائية، هذا المعتقد معروف باسم «المذهب الحيوى» **vitalism**(*). إنه فكرة مضللة وذات تاريخ طويل. حيث اقترح الفيلسوف الإغريقى أرسطو **Aristotle** أن ثمة خاصية سماها «قوة الحياة» أو «الـنفس» أو «العقل» أو «الروح» "**Psyche**" هى التى وهبت النظم العضوية الحيـة مميزاتهـا الملحوظة، خاصة تلك المتعلقة بالسيطرة الذاتية والحركة الذاتية «روح» أرسـطو هذه تختلف عن «الروح» التى أشارت إليها المسيحية بعد ذلك والتى يـشار إليهـا بالمصطلح **Soul** كخاصية منفصلة ولها خصوصيتها. وبالطبع ففى الـسمط الـذى اقترحه أرسطو فكل شيء فى الكون من المفترض أنه يشتمل على خواص تحـدد سلوكه. وكأثر لهذه الفكرة فقد نُظر إلى الكون كله كنظام عضوى.

وعبر القرون فقد عاد ظهور فكرة «قوة الحياة» هذه ولكـن فـى هيئـات مختلفة. ومن وقت لآخر تجرى محاولات لربط الفكرة مع بعض العناصر الخاصة أو المتكلفة كالهواء مثلاً، وربما لم يكن هذا غير عقلانى، لأنه بعد كل شيء فـإن

(*) ويقول المذهب الحيوى بأن الحياة مستمدة من مبدأ حيوى ولا تعتمد كلية على العمليات الفيزيوكيماوية (المترجم).

التنفس يتوقف بالوفاة، كما أن التنفس الصناعى يمكنه أحيانًا مـن تجديـد بعـض الوظائف الحيوية وإحيائها. ومؤخرًا فقد أصبح الدم هو الجوهر أو المـادة مانحـة الحياة. وهذه الأساطير القديمة ما زالت باقية معنا من خلال تعبيرات مثل «الحيـاة المتنفسة» "breathing life" أو «نزح أو استنفاد دورة حياة الدم» " draining away the life blood" كما لو أن هناك أكثر من نوع من الدماء.

ومع تقدم الفهم لدى العلماء، أصبحت قوة الحياة مشتركة مـع مفـاهيم أكثـر تميّزا. فقد جرت دعاوى إلى أنها قابلة للمساهمة مع مادة «الأثير» أو «الفلوجستون» "phlogiston"(*) أو "aether" وكليهما من الجواهر المتخيلة والتـى أصـبحت سـيئة السمعة وغير قابلة للتصديق طبقًا لهذا المجرى من التفكير. وثمة فكرة ثانية كان لهـا شأو شعبى فى القرن الثامن عشر، وتتلخص فى تعريف قوة الحياة بالكهربـاء. فـى هذا الوقت كانت ظاهرة «الكهربية» غامضة بدرجة كافية لأن تخـدم هـدفًا كهـذا الهدف، والتجارب الشهيرة لـ: فولتا Volta أبرزت أن الكهرباء يمكن أن تشد بقـوة عضلات الضفدع. كما أن المعتقد بأن الكهرباء يمكن أن تعيـد إحيـاء المـادة، ثـم استخدامه بطريقة دراماتيكية فى الرواية الشهيرة التى أبدعتها «مارى شيللى» Mary Shelley بعنوان «فرانكنشتاين» "Frankenstein"، والتى فيها الوحش – الـذى تـم تجميعه من أعضاء جثث الموتى – قد بُعث حيًا عبر شرارة كبيـرة مـن عاصـفة رعدية. وفى أخريات القرن ١٩ حل النشاط الإشعاعى محل الكهرباء باعتباره آخـر الظواهر الغامضة، وبالتالى جرت دعاوى بأن محلولاً من الجيلاتين، ربمـا تقطّـر ومعه الحياة إذا عرض لانطلاقات إشعاع بللورات الراديوم.

تلك المحاولات الباكرة لتفسير قوة الحياة تبدو لنا اليوم كنوع مـن العتـه أو السخف. ومع ذلك فإن افتراض أن الحياة تتطلب شيئًا إضـافيًا للقـوى الفيزيائيـة

(*) وهى مادة كيماوية وهمية، وكان يُعتقد قبل اكتشاف الأوكسجين أنها من المقومات الأساسية للأجسام الملتهبة ومن هنا جاءت تسميتها «اللاهوب» (المترجم).

المعتادة، عاش جيدًا خلال القرن العشرين. ولمدة طويلة كان الظن أن الكيماويـــات التى تصنعها النظم العضوية تختلف عن باقى العمليات الكيماوية. وحتى اليوم فـــإن مسألة الكيمياء تنقسم إلى ما هو عضوى وما هو غير عضوى. وكان تطبيق ذلـــك يتمثل فى أن المواد العضوية مثل الكحول **alcohol** والفورمـــالين **formaldehyde** واليوريا **urea** بشكل أو آخر تحفظ الجوهر السحرى للحياة، حتى عندما يتم فصلها عن أى نظام عضوى حى. وعلى سبيل المخالفة فالمواد غير العضوية مثل الملـــح العادى **common salt** فهو ميت مائة بالمائة.

وقد كان نوعًا من الصدمة عام ١٨٢٨ عنـــدما حـــاول فريـــدريش وولـــر **Friedrich Wohler**، أن يصطنع اليوريا مـــن ســـيانيد الأمونيـــوم **ammonium cyanate**، وهو مادة غير عضوية. خارقًا بذلك القانون الحائل بين ما هو عـــضوى وما هو غير عضوى، موضحًا، بذلك، أن الحياة نفسها ليست ضرورية كى تصنع مواد عضوية. داحضًا فكرة أن الكيماويات العضوية تختلف بحـــدة عـــن غيرهـــا. وسرعان ما انتهت فكرة الفصل هذه. وأصبحت مجموعة مألوفـــة مـــن المبـــادئ ستحكم من الآن فصاعدًا عالم الكيمياء للأحياء وغير الأحياء معًا. والآن نحن نعلم أن الذرات تدور فى المحيط الحيوى إلى داخل وخارج النظم العضوية الحية طول الوقت. وكل ذرة كربون فى جسدك متكافئة تمامًا مع أى ذرة كربونية فى الهـــواء أو فى كومة من الطباشير. ليس ثمة سحر أو غموض فى نـــشاط يـــرى أن ذرات الكربون فى جسدك حية، أما الباقيات منها حولك تكون ميتة. ليس ثمـــة خاصـــية شبيه الحى تتطلبها ذرة الكربون عندما تأكلها، وأن تكون غير حية حينما ترســـلها خارجك عبر إحدى تنهيداتك.

وبالرغم من ضبابية وغموض التميّز بين كيماويات عضوية وأخـــرى غيـــر عضوية، فقد عاش المبدأ الحيوى حيث عممه بعض الفلاسفة المعروفون جيدًا مثـــل «هنرى برجسون» **"Henri Bergson"** فى فرنسا. وفى الواقع قد دخل إلـــى مرحلـــة علمية مع أعمال إخصائى ألمـــانى فى علـــوم الأجنّة يـــدعى «هـــانز دريـــش»

"Hans Driesh" فى تسعينيات القرن ١٨. لقد كان دريش متأثرًا بالطريقة التى يمكـن فيها للجنين أن يكون متشوهًا فى مراحل نموه الباكرة، ومع ذلك يبقى ويشفى وينـتج كائنًا حيًا صحيحًا وعاديًا. مثل هذه الملحوظة وغيرها من الخواص الملحوظـة فـى نمو الكائن الحى قادت دريش لاقتراح أن بروز الشكل الصحيح للكائن الحـى، بكـل تعقيداته التى يصعب تحليلها، يعنى أنه خاضع لسيطرة قوة حياة تقود العمليات والتى اصطلح لها المسمى: «إنتيليشى» "entelechy". كما أدرك أن تلك الخواص الآمـرة لتلك القوة المسيطرة سوف تكون فى موضع التصارع مع القوى الفيزيائيـة العاديـة ومع قانون حفظ أو بقاء الطاقة. ولذلك اقترح أن «الإنتيليشى» تتصرف علـى نحـو يؤثر على توقيت تفاعلات الجزيئات بطريقة تنتج نموذجًا له مرتبة أعلى ومتعاونًا.

ولو أن نمو الجنين ظل غير مفهوم كليًا، ولكن ما عرف عنه وعن النموذج التشكلى البيولوجى فى عمومه كان كافيًا لإقناع البيولوجيين بأن الـ «إنتيليشى» أو أى وجه آخر للنظر فى مفهوم قوة الحياة، ليس من قبيل الضرورة التعقيدية. وهـذا لم يمنع كثيرًا من غير العلماء من التمسك بأفكار المبـدأ الحيـوى حتـى اليـوم. والمعتقدات فى ذلك تتراوح بين الظاهرة العلمية مثل صورة كيرليان **Kirlian** التى تظهر نوعًا من الإكليل أو الهالة تتوهج حول يد المرء والتى ترجع إلى وَضْعها فى مجال كهربائى قوى، إلى حتى الأفكار الـصوفية الغامـضة والجزئيـة أو غيـر الخجولة لـ «الين» "yin" و«اليانج» "Yang" عـن الطاقـة المتدفقـة، والكارمـا **Karmas**، والشرارة التى تظهر منها فقط عند منح «الـروح» **Psychi**. ولـسوء الحظ بالنسبة للصوفيين فليس ثمة تجربة علمية مسيطر عليها، قد تم إجراؤها على نحو صحيح عن قوة الحياة وهى تعمل، ولا نحن فى حاجة لقوة تفسر مـا الـذى يجرى داخل كائن بيولوجى حى.

وسبب آخر لرفض الشروح الحيوية للحياة وهو أنها بالكامل تخص سـلوكًا أو تكاد تكون منشأة كلية لهذا الغرض. ولو أن قوة الحياة تعبر عن نفسها فقط فـى الأشياء الحية، فسوف تكون له قيمة تفسيرية ضعيفة وربما لا قيمة على الإطـلاق.

ولكى نجعل هذه النقطة واضحة، دعنى استخدم تشابه آلة بخارية قادرة على الحركة. فإذا سألت ما هى هذه الآلة وكيف تعمل، فإن أى مهندس يمكن أن يعطيك إجابة تفصيلية عن هذا السؤال. يمكنه أن يخبرك عن الصمامات والنقاط المتحكمة وضغط البخار وقواعد الديناميكا الحرارية فى مجال الإحراق. ويمكنه أن يرشدك إلى أزرار الحركة التى تؤدى إلى حركة العجلات. ويمكنه أيضًا أن يشرح لك شموع الاحتراق وكيف تعطى وميضًا يؤدى إلى قذف شعلة ودخان دافع للحركة.

والآن لا بد أن يكون موضوعيًا أن تقديرات المهندس ولو تفصيلية وكاملة، تظل بعيدة عن خلاصة الآلة، الشيء الذى يمنح مجرد كمية كبيرة متصلة من الأجزاء المعدنية هذه القوة المثيرة، «صاحبة الجلالة"، الحركة المتوافقة الأنيقة، معنى الحضور الذى يجعل المرء يتشارك مع آلة متحركة بخارية. وهكذا هل علينا أن نفترض ذلك أنه بالإضافة لأنها تَجَمُّع من محتويات معدنية، فإن الآلة يجب شحنها بهذا المُوَجِّه **traininess** الذى يجعلها آلة حقيقية؟

بالطبع الأمر عبثى. أين نجد هذا الموجّه أكثر مما نجده فى قطار؟ الآلة البخارية ببساطة هى مجموعة القطع والأجزاء المكونة لها ومرتبة بالطريقة التى هى عليها وليس هنا شيء إضافى تتضمنه ولا ذاك الموجِّه، الذى يمكن أن يضيفه الصانع ليجعل من الآلة شيئًا حيًا من أجل الغرض الذى قُصد بها. وبالمثل فإن السعى لفهم أصل الحياة، يحدو بالعلماء للنظر إلى العمليات العادية التى تقوم بها الجزيئات لكى يفسروا ما يحدث، وليس من أجل «قوة حياة» خارجية يمكن أن يحيى مادة ميتة. والذى يجعل الحياة مهمة هكذا، وما يميز الحى من غير الحى، ليس هو مما يتألف الكائن الحى، ولكن كيف تجمعت هذه الأجزاء وتعمل مع بعضها ككل.

وبالرغم من الحقيقة القائلة بأن المبدأ الحيوى أصبح سيئ السمعة وغير قابل للتصديق به. فإن أصل الفكرة يظل صحيحًا. ليس هناك شيء مادى، أو أى شيء داخل الكائن الحى، شيء فريد وحَرْفى وحيوى للعملية المنوط بها. ليست خلاصة

أو قوة أو ذرة لها حيوية. هذا الشيء الزائد هو نوع معين من المعلومات، أو باستخدام الرطانة الحديثة «سوفت وير» أو غير المنظور.

قصة الجزيء القديم (الأول):

في داخل كل واحد منا تكمن رسالة. وهذه الرسالة موصوفة في شفرة قديمة، وفقدت بداياتها في ضباب الزمن. وشفرة الرسالة هذه تحتوى على تعليمات لكيف يُصنع الكائن البشرى. ولا أحد كتب هذه الشفرة ولا أحد اخترعها. لقد أتت للوجود بشكل عفوى وتلقائى. وكانت التى قامت بالتصميم هى «الطبيعة الأم» ذاتها، وهى تعمل داخل قوانينها الثابتة، كاتبة بحروف استهلالية كبيرة على التقلبات الصدفوية الصعبة. والرسالة ليست مكتوبة بالحروف أو الحبر ولكن فى الذرات المرتبطة معًا يجمعها ترتيب تعاونى متعاقب لتشكيل ما يعرف بالرمز (دنا) **DNA**، وهى الحروف الأولى للمصطلح **Deoxyribo Nucleic Acid**، وتعنى الحامض الريبوى الذرى الكنزوع الأكسجين، إنها أغرب جزئي على الأرض.

الدنا البشرى يحتوى على عدة بلايين من الذرات مترابطة مع بعضها فى شكل مميز فى زوجين من الخطوط المضفرة. هذا الشكل الشهير اللولبى المزدوج سوف يتحول إلى حزمة ذات شكل التفافى. وإذا قمت بفرد الدنا فى ذرة واحدة من جسدك فسوف تصنع خيطًا بطول مترين. هذه جزيئات كبيرة بالطبع!

ومع أن الدنا هو مُنْشأ مادى، فهو محمل بالعديد من المعانى. إذ إن ترتيب الذرات فى هذا الخيط الحلزونى من الدنا سوف تقرر كيف سيبدو شكلك، وإلى درجة ما كيف تتصرف وكيف سيكون شعورك. الدنا ليس أكثر من «الطبعة الزرقاء» (الطبعة المبدئية قبل النهائية)، وبطريقة أكثر دقة هو نوع من الجبر أو التعليمات اليدوية لبناء كائن حى متنفس ومفكر.

ونحن نشارك مع كل أشكال الحياة على الأرض فى هذا الجزىء السحرى. من الفطر إلى الحشرات الطائرة ومن الباكتيريا حتى الدببة، الكائنات العضوية منحوتة طبقًا لتعليمات الدنا الخاصة بها. وفي كل شخص منا فإن الدنا تختلف عما هى فى أى شخص آخر على الأرض (فيما عدا التوائم المتطابقة)، وتختلف أكثر بالنسبة لأنواع الكائنات الأخرى، ولكن البناء الرئيسى والبنية الكيمائية والتصميم الحلزونى المزدوج، كل ذلك عالمى السمة أى يشترك فيه الكل.

الدنا قديم بشكل لا يصدق وغير متخيّل. لقد تواجد تقريبًا منذ ٣,٥ بليون من السنين. بحيث يجعل من عبارة «قديم قدم التلال» وكأنها بلا معنى. الدنا كان موجودًا قبل أى تَلٍّ على الأرض. ولا أحد يعرف كيف وأين تشكل أول جزىء دنا. وبعض العلماء حدسوا أنه ربما كان غَازِيًا من الفضاء، جزىء قادم من المريخ ربما، أو من مذنب هائم. ولكن على الرغم من تواجد أول حبل من الدنا فإن الدنا خاصتنا وكأقرب احتمال ينحدر مباشرة من هذا السلف – هذا والخاصية التى تبتعد بالدنا عن أى جزيئات كبيرة أخرى فى الكائن الحى، وهى خاصية حاسمة وأعنى بها قابليته لإعادة نسخ نفسه. ولكن الدنا يعيش عملية صنع مزيد من الدنا، أجيالاً بعد أجيال، وتعليمات تليها تعليمات، منظمًا شلالاً عبر العصور أو سلسلة لا تنقطع من النسخ بدءًا من الميكروبات ووصولاً إلى الإنسان.

نسخ مثل هذا الشىء وفقط من ذات النوع. والنسخ التام من الدنا سوف يقود إلى كوكب مغمور كلية أو إلى أقصاه **Knee-deep** من كيانات عضوية وحيدة الخلية المتطابقة. ومع ذلك فليس ثمة نسخ يمكن الاعتماد عليه كلية. إن طابع النسخ الآلى قد يوجد بعض النقاط الشاردة فى النسخة، كما أن خطًا تليفونيًا يتسم بالتشويش قد يشوه عملية نقل رسالة، وكمبيوتر به خلل ما قد يفسد قائمة معلومات عند نقلها من الأسطوانة الصلبة إلى أسطوانة صغيرة **flobby** وعندما تقع أخطاء فى عملية إعادة نسخ الدنا لذاته، فيمكن أن تظهر هذه الأخطاء فى شكل تحول أو تغير مهم فى الكائن العضوى الوارث. فى الغالب يكون التحول مدمرًا، مثل كلمة

عشوائية يمكن أن تتسبب فى تشويه عبارة جملة أو قصيدة قصيرة لـــ: «شكسبير» "**Shakespeare**". ولكن مصادفة، وفقط بالمصادفة، ربما ينتج خطأ ما نتيجة إيجابية ونافعة، مانحًا ميزة للمتحول. وإذا كانت الميزة حافظـــة للحيـــاة، وتمكــن الكـــائن العضوى من إعادة إنتاج نفسه بكفاءة، فإن الجزء المعطوب من الدنا لن يعيد نـــسخ نفسه وسيصبح المنسوخ الجديد سائدًا. وعلى سبيل الحديث لا أكثر إذا كان الخطـــأ المنسوخ قد صادف كائنًا ذا إمكانية تكيّف ضئيلة فإن قيد التحول هنا ربما يـــزول بعد أجيال قليلة ملاشيًا هذا التنوع المعين أو فرع الدنا هذا.

هذه العمليات البسيطة من إعادة النسخ، والتنوع والاســتبعاد هـــى نفـــسها أساسيات المنظور الداروينى. والانتخاب الطبيعى – التمحيص الـــدائم للمتحـــولين طبقًا للياقتهم – يعمل مثل ترس السقاطة يحافظ على الأخطاء التى تمثل مميـــزات ومُقصيًا تلك التى تعتبر سيئات. ابتداءً من دنا بعض أسلافنا البدائيين «الميكروب» فإنه قطعة بعد قطعة، وخطأ بعد خطأ فإن طول التعليمات المتزايدة لبناء كائن أكثر تعقيدًا أصبحت فى متناول الإنشاء.

يجد بعض الناس غضاضة فى ابتلاع هذه الفكرة: أن كتيبًا للتعليمات يكتـــب نفسه بمجرد مراكمة أخطاء نشأت بالمصادفة ولذا دعنى أعيد مناقـــشة الموضـــوع مرة أخرى، مستخدمًا القليل من المجاز أو الاستعارة فَكِّرْ فى المعلومات المتـــوافرة لدى الدنا، كأنها سيمفونية كبيرة بـــالطبع وجبـــارة بـــشكل اســـتثنائى كمقطوعـــة أوركسترالية تضم مئات العازفين يعزفون آلاف «النوتات». وبالمقارنة فـــإن دنـــا السلف القديم ليس إلا مقطوعةً موسيقيةً صغيرةً **Melody** فكيف لهذا اللحن الصغير أن ينقلب إلى سيمفونية؟

افترض أنه طُلب من أحد الناسخين أن يكرر نسخ اللحن الأساسى كخط بدايـــة لقطعة موسيقية. ولكن فى إحدى المرات تتحول النغمة «دو» إلى النغمـــة «رى». إن مجرد انسياب ضئيل للقلم قد ينتج تغيّرًا طفيفًا فى درجة السرعة أو الحركة أو يجعله فى مستوى معين. بالصفة فإن خطأ أكثر جدية يؤدى إلى خلل كبير فى النوع. جـــزء

كامل من النوع يتم عزله أو إقصاؤه أو يتم تكراره ربما. أغلب هذا النوع من الأخطاء يفسد توازن الهارمونية (تلاؤم الألحان مع بعضها البعض) حتى إن الهدف المطلوب لا يبقى مستخدمًا. ولا أحد سيرغب فى الاستماع للمعزوفة الموسيقية. ولكن بالمصادفة أيضًا فإن الانسياب الصغير من القلم قد يضيف لحنًا متخيلاً جديدًا جميل السمت، أو إضافة ناجحة أو تغيرًا حميدًا، بمجرد المصادفة. ستتحسن النغمة وستصبح مقبولة ومصدقًا عليها فى المستقبل. والآن تخيل أن هذه العملية من التحسن والمدروسة جيدًا، استمرت على مدى تريليونات العمليات من إعادة النسخ. ببطء ولكن تأكيدًا فإن النغمة سوف تتطلب سمات جديدة، مطورة بناء لحنيًا أثريًا متحولة إلى سوناتا وبعدها إلى كونشرتو وحتى متطورة إلى سيمفونية.

النقطة الحاسمة فى هذا المجاز، والتى لا يمكن الضغط عليها بشدة، هى أن السيمفونية تأتى للوجود دون أن تكون لدى الناسخ أى فكرة معرفية ولو بسيطة بالموسيقى أو حتى كانت خارج مجال اهتمامه. ربما يكون الناسخ أصَمَّ منذ ميلاده ولا يعلم شيئًا أيًا كان عن الألحان. وهذا لا يهم، لأن وظيفة الناسخ لا تتعلق بالتأليف الموسيقى ولكن تتلخص فى نسخها فقط. والذى لم يكن المجاز صائبًا بشأنه أو فيه هو عملية الاختيار. باعتبار أنه لا يوجد موسيقى عالمى يُدقِّق فى هدف الحياة أو يقوم إزاءها بعملية اختبار للجودة. هناك فقط الطبيعة حادة الأسنان والمخالب مُوَظِّفة لقانون بسيط ولكنه ناشب مخالبه: إذا كان يعمل بفاعلية احتفظ به، وإذا لم يكن كذلك اقتله.

و«يعمل» هنا تُعرف بمقياس وحيد فقط، هو «إعادة النسخ» بكفاءة. وإذا نتج الخطأ فى مزيد من النسخ التى صنعت، فهو بالتعريف، ودون أى اعتبارات أخرى، «يعمل"، أى لو أن «أ» نسخت «ب» ولو بأبسط هامش، فإنه مع تعاقب الأجيال سوف يكون هناك الكثير من «أ» بأكثر من أعداد «ب» ولو حدث أن «أ» و«ب» تزاحما إلى حد التنافس على المساحة التى يحتلها كل منهما، فعما قليل سوف تقصى «أ» «ب» كلية. أى تبقى «أ» حية، بينما تموت «ب».

الداروينية تعتبر المبدأ المركزى، الذى يدور حوله فهمنا لكيف تتبنى البيولوجيا. إنها تقدم لنا تفسيرًا اقتصاديًا قصيرا وبلا تَزَيُّد عن كيف لرسالة جينية نسبية أن تجتهد وتتقن تعاليمها عبر العصور والدهور لتنشئ جزيئات الدنا المعقدة لدرجة إنتاجها إنسانًا. ما دام كتاب التعليمات: الدنا «البشير»، قد تواجد فى المقام الأول، إذن فإن الأخطاء العشوائية والاختيار ربما يكونان قادرين على إبرازها أو ظهورها. الجينات الجيدة تبقى والجينات السيئة تُستبعد. وفيما بعد، سوف أناقش مدى وفاء هذا التفسير الصارم للمطلوب. ولكن الآن فأنا مهتم بنقطة البداية هذه. ومن الواضح أن التطور الداروينى يمكنه أن يعمل فقط عند تواجد نوع ما من الحياة (بصريح العبارة فهو لا يتطلب الحياة بكامل مجدها وزهوها باعتبارها إعادة نسخ وتَنَوّع واختيار). الداروينية لا تقدم لنا أى مساعدة فى مجال شرح الخطوة الأولى المهمة: أصل الحياة. ولكن المبدأ المحورى فى الحياة يفشل فى تفسير أصل الحياة. لقد تُركنا مع معضلة. ما هو المبدأ الآخر أو المبادئ التى تشرح لنا كيف بدأت؟

لحل هذه المشكلة لا بد أن نسعى إلى «مفاتيح» – أين نبحث عن هذه المفاتيح عن أصل الحياة؟ مِنْ أحسن الأماكن التى يمكن البدء بها هو أن نسأل أين بدأت الحياة ذاتها. فإذا ما اكتشفنا المكان الذى بدأت فيه الحياة فربما نكون قادرين على تخمين الظروف الفيزيائية التى صاحبت البداية. وبعدها نشرع فى دراسة العمليات الكيميائية التى حدثت فى ظل تلك الظروف، وأن نبنى صورة للمرحلة قبل العضوية قطعة بعد قطعة.

الميكروبات والبحث عن جنة عدن:

عندما كنت شابًا يافعًا كنت مُجبرًا على الالتحاق بما يعرف بـ «مدارس الأحد» والذى كان يمثل لى نوعًا من التعذيب الذى كرهته. والذكرى الإيجابية

الوحيدة الباقية لي من هذه التجربة، هي تصفح كتاب مصور يصف حدائق عـــدن **Garden of Eden**. وكانت الصورة الفاتنة التي تأخذ باللب تُعبِّر عن مساحة مـــن الأرض منظمة حيث تظل الشمس مشرقة دومًا، والحيوانات المجلوبة تـــزأر دون خوف، حيث إنهم جميعًا نباتيون. وكانت تمثل مفارقة قياس بينها وبين حي لنـــدني إنجليزي كئيب. ومن المحزن أن جنّة الكتاب المقدس تحولت لديَّ إلـــى أســـطورة. ولم يزل هناك مكان، حيث عاشت فيه الكائنات الباكرة. نوع من «عدن» العلميـــة. أين يقع هذا المكان؟

أنا أكتب هذا الفصل في يوم ربيعي، فيه وابلٌ من المطر يسقط على تـــلال «أدليد» **Adelaide**. أمطار الشتاء قد حولت المشهد الريفي إلى اللون الأخضر. إلى حيث أوجِّهْ بصري أجد غطاءً عاليًا من الأشجار العملاقة فوق شجيرات صـــغيرة وافرة وكثيفة، وثمة أشجار أصغر وحشائش تملأ المكان. وأيضًا ثمـــة عـــصافير تنقض من الأعالي وتتوهج ألوانها الزاهية وهي تتنقل عبر أفنان الـــشجر وتختفـــي تحت أوراق الشجر المتـــساقطة علـــى الأرض، الثعـــابين والـــسحالي والعناكـــب والحشرات. وهناك أيضًا أرانب وبوسمات **possums** (الحيوان المتماوت) وفئـــران وقنافذ النمـــل **echidnas**، وأيـــضًا الحيوانـــات مثـــل الكـــاولا **Koal** والكـــانجرو **Kangaroo**. حتى في هذا الريف الجاف تبدو الحياة رائعة ومليئة بالحيوية.

التنوع المحض في الأشياء الحية قد بعث السرور عند الناس علـــى مـــدى آلاف السنين، ولكنها أصبحت محل مقارنة بعد اختراع المايكروسكوب، حيث تـــم كشف التقسيم الحقيقي في الحياة على الأرض. حتى بالنسبة للطبيعيين المندهـــشين للثراء البيولوجي في غابة مطيرة أو من حيّد صخري من المرجان. تظـــل هنـــاك وفرة قابعة غير مرئية حولهم. وهو مجال الكائنات العضوية المجهرية، الكائنـــات وحيدة الخلية ذات الحجم الذري والتي تسكن تقريبًا، كل ركن أو زاوية متاحـــة أو أي صدع أو شق على هذا الكوكب. والتي طويلاً ما تم استبعادها كمجرد جـــراثيم فقد أصبح معروفًا الآن أن الميكروبات تسيطر وتحكم شجرة الحيـــاة. ويمكنـــك أن

تذهب إلى حديقتك الخلفية كما يقول جون هولت **John Holt** من جامعة ولاية ميتشجان(٥)، ولو فعلاً ركزت عليها عقليًا، فسوف تعثر على آلاف الأنواع الجديدة في وقت ليس بالكثير. وثمة توقف هنا لإبداء تعليق يبدو شديد المبالغة: يشتمل ملء ملعقة من التربة الجيدة على نحو عشرة تريليونات من الباكتيريا، والتي تمثل عشرة آلاف نوع مختلف! وعلى الجملة فإن كتلة الكائنات الماكروية على الأرض يمكن أن تكون كبيرة، لدرجة أن وزنها يبلغ مائة تريليون طن، أكثر من وزن كل الحياة المنظورة على الأرض لو تم تجميعها معًا.

ويجب أن تكون متأكدًا، أن التأثيرات الفيزيائية التي تسببت فيها الكائنات العضوية الماكروية هي عادة تأثيرات منظورة: عبر الأمراض الناجمة عن التلوث، ومن خلال تخمر الكحول، وانحلال أو تفسخ الطعام، وتلك مجرد أمثلة. وحتى مع ذلك، فإنها دومًا ما يُستخف بها أو يُبخس قدرها بمعرفة البشر، ربما لأنها صغيرة جدًا عنا. ويعتقد «ستيفن جاي جولد» **Stephen Jay Gould** أن علينا أن نخفف من هذه الشوفينية **Chauvinism**، بأن نطلق على العصر الحالي: «عصر الباكتيريا» بحيث يشتمل تعداد هذه الكائنات الرفيعة القوام حقيقية على ما يفوق، بل يكاد يسحق كل تعداد النسمات والأنواع الأخرى(٦). وبالمقارنة فإن الكائنات العضوية المعروف بأنها أعلى مستوى، مثل البشر والكلاب وزهور الربيع، تشغل مجرد أفرع بعيدة عن مركز شجرة الحياة.

والحجم ليس وحده السبب في أننا لا نُلقى نظرة فاحصة على الميكروبات. وإنما لأنه ليس سهلاً زرعها في المعامل، بينما هناك الكثير منها في البراري، ولكن في حالة قصور ذاتي، وليس على الأسطح الخارجية لتلك البراري، وأيضًا فإن كثيرًا من أنواع الباكتيريا المختلفة تبدو وكأنها متطابقة على نحو مخادع، وليس قبل مؤخرًا أن استطاع علماء الميكروبولوجيا أن يمسكوا بها في مجموعات كطريقة لتصنيفهم. والآن مع التقنيات القوية في عالم الجزيئات وتعاقبها، فإن اختلاف الأرومة قد تم الكشف عنه: والباكتيريا التي تبدو متشابهة تحت المجهر، ربما تتحول للمشاركة مع أرومات قليلة بأكثر مما تفعل مع الإنسان.

وقد أشار جولد بوضوح إلى أن عصر الباكتيريا، عصر دائـم، لأن معظـم دورات الحياة التى وجدت فوق الأرض لم يكن فيها إلا الميكروبات. هذا التصريح المتسم بالرزانة، يمثل فرصة رغم هذه السمة. لأن بداية الحياة بالميكروبات يتـيح لنا توقع العثور على مفاتيح مهمة عن أصل الحياة بدراسة الأمثلـة الحيـة منهـا. والأمل فى أن البعض منها سوف يحتوى على رفات باقية فيه من الماضى البعيـد فى شكل تكوين غير عادى. وآثار من العمليات البيوكيماوية، ربما تكون باقية عبر سمات فائضة، المعادل الميكروبى للزائدة الدودية البشرية. وحتى إنه من الممكـن أن تكون الميكروبات الحية حاملة جزيئات فائضة من العالم قبل البيولوجى.

وبوضع قطع أو شرائح المعلومات من الميكروبـات الحيـة مـع بعـضها البعض، فمن الممكن أن تظهر لنا كيف كانت تشبه الكائنات الحية من أسلافنا، وأن نخمن أين وكيف كانت تعيش. ولسوء الحظ أنك لا تستطيع بمجرد النظر أن تـرى كيف كان تاريخ تطور الكائنات الحية الماكروية. إذ إن لها سمات تشريحية قليلـة يمكن تصنيفها من خلالها. لا أذرع ولا سيقان، لا خياشيم ولا رئات، لا عيـون أو آذان يمكن أن تعرض نفسها علينا لعقد المقارنات، وكما سأشرح فيما بعـد الـدليل الذى يربط بين الميكروبات وأسلافهم القدامى، والذى يكمن بقوة فى تركيبها الجينى البيوكيماوى، والطرق الأيضية التى تستخدمها. ولحسن الحظ فإن تقنيات البيولوجيا الجزيئية الحديثة تسمح بالفحص الدقيق لمثل هذا الدليل. مثل نفايات فى كتاب شـبه منسى من لفائف الورق، فإن هذا الاختبار لهذا الدليل الجزئى قد تم محـوه جزئيًـا بسبب عوامل التعرية أو التلف الذى يحدثه تعاقب الزمن، ولكنه يقدم لنـا لمحـات مغرية عن تطور وقع فى الماضى الممتد لما يقرب من أربعة بلايين من السنين.

وبوجود المعرفة بأن هناك العديد من أنواع الميكروبـات، فـأين يجـب أن يتركز بحثنا عن المفاتيح الجزيئية؟ اليوم فإن ثمة باكتيريا مفعمة بالحيوية أو ناشطة ومركبة من تأليف من التمثيل الضوئى **photosynthesizing**، وهذه هى التى يجب أن نلحظها، ولكن منذ أكثر من بليونين من السنين، لم يكن ثمة أكسجين، وإنما كان

موجودًا بدرجة قليلة على الأرض ومع ذلك ازدهرت الميكروبات فى شكل تنوع سكانى، مُخمِّرة الكحول ومُنتجة للميثان **methane**، ومقللة من الكبريتات **sulphate**. هذا وقد احتفظت بعض الميكروبات على مستوى معيشتها القديم حتى اليوم. وهذه بالذات هى أكثرها إمكانية لتقديم مفاتيح للأشكال القديمة للحياة. والتى تقترح فكرة مخادعة أو مضللة، افترض أنه باقية للآن كوة أو بيئة ما مظلمة، مكان غريب دخيل بحيث تتشابه شروطه مع كويكب واحد من آلاف الأجرام السيارة، التى تجرى بين المريخ والمشترى، والذى يقذف بالحمم باستمرار، والمغطى بالغازات والذى يغلى كجهنم – ذاك هو كوكب الأرض فى حالته البدائية؟ وإذا نظرنا بعناية، فربما نعثر على رفاة كائنات عضوية كانت تعيش هناك، ميكروبات ربما تغيرت قليلاً منذ فجر بزوغ الحياة.

هل هذا ممكن؟ هل يمكن وجود مكان كهذا؟ الإجابة هى نعم هذا ممكن، ونعم يوجد مكان كهذا، وموقعه يثير الدهشة بقدر ما هو مظلم. هناك فى أعماق البحر البعيدة، على الأرضية المظلمة للمحيطات، بعض الأماكن، حيث تتمدد قشرة الأرض وتتمزق، مدفوعة بتأثير القوى الحرارية فى العمق البعيد للأرض. والطبقة الصخرية لقاع البحر تتحول باستمرار من مكان لمكان، وتجهد نفسها عبر تمزقها، محدثة صدوعًا وشقوقًا. وهنا وهناك فى وسط المحيط سلسلة جبال وتلال مكونة، أو تكون موضعًا للصخور المنصهرة المدفوعة للمياه المتجمدة فوقها والحمم المترسبة فى قعر المحيط، تنكمش وتطقطق أثناء تصدعها فى حال تعرضها للبرودة، منشئة ما يشبه النسيج الخلوى من الصدوع والأنفاق التى تمر عبرها المياه بتأثير تيارات الحمل الحرارى مذيبة المعادن فى هذه العملية. وعند هذه الفتحات «تتقيأ» الأرض من ذلك الحين وبعده تيار من السائل اللافح، «مُتَبِّل» بالكيماويات بشكل حر، إن قسوة وضراوة هذا السائل اللافح فى مواجهته مع مياه البحر الباردة ينشئ مركزًا للجحيم الحرارى والكيماوى.

ويبدو مستحيلاً أن نتخيل أن ثمة أى شكل من أشكال الحياة، يمكن أن يحيا فى ظل هذه المشارطات الخشنة، التى يمكن اعتبارها من بقايا «الجحيم» Hades، أكثر منها بقايا الجَنّة أو «حدائق عدن» **Garden of Eden**. ولكن من المدهش، فإن هذه الفتحات البركانية فى المحيطات تمثل وطنًا لتنوع ثرى من الميكروبات بعضها يعتبر آثارًا من البيولوجيا القديمة. هنا فى ظلمة الأعماق البركانية يقيم أقرب النظم العضوية، التى نعرف أنها أول كائنات عاشت على الأرض. وفى الفصول القادمة، سوف أصف كيف كانت الاكتشافات المروعة لحشرات فائقة الحجم، تنمو تحت سطح البحر وتحت سطح الأرض، والتى غيرت تفكيرنا عن أصل الحياة وإمكانية الحياة فوق المريخ وفى أى مكان آخر.

ولكن مبدئيًا يجب أن أشرح القليل حول المبادئ الرئيسية للكيمياء الحيوية. وبصفة خاصة فيما يتعلق بقوانين الديناميكا الحرارية.

الهوامش

(١) المصادفة والضرورة Chance and Necessity لـ: جاك مونود Jacques Monod.

(trans. A, Wainhouse, Collins London 1972, p. 167).

(٢) الحياة ذاتها: طبيعتها وأصلها Life itself: Its Nature and Origin لـ: فرانسيس كريك Francis Crick.

(Simon & Schuster, New York 1981, p. 88).

(٣) يورو: يورو Yorro Yorro لـ: دافيد موالجارلاى وجوتا مالنك David Mowaljarlai and Jutta Malnic

(Magabala Books, Broome, Western Australia 1993, Chapter 23).

(٤) نظرية السلالة العامة Common descent كانت قد اقترحها بالفعل جد تشارلز دارون إراسموس دارون Erasmus Darwin فى علم الحيوان أو قوانين الحياة العضوية.

(London 1794) Zoonamia or the Law of Organic Life.

(٥) العلماء الجدد New Scientist (10 Februry 1996, p. 26).

(٦) جلال الحياة Life's Grandeur لـ: ستيفن جاى جولد Stephen Jay Gould.

(Jonathan Cape, Lodnon 1996, Chapter 14) وسأعود إلى هذا الموضوع فى الفصل العاشر.

الفصل الثانى

عكس اتجاه المـــد

«عندما نرحل نترك خلفنا آثار أقدام فى رمال الزمن»

هـــ. دبليو. لونجفيلو[1].

H.W. Longfellow

فى أيام طفولتى، كانت رحلاتى لشاطئ البحر تمثـل لـى مناسـبات لهـا وزنها. وأكثر ذكرياتى الحية عن هذه الرحلات إلـى جانـب نباتـات وطحالـب البحر وأسماك «الجيلى فـش» وسـاعات الغـروب والـشروق فـوق المحـيط. أذكر جيدًا دهشتى الصادمة من مـشاهدتى لعـدة ثقـوب صـغيرة (حفـر) فـى الرمال الناعمة للشاطئ يتركها المد وراءه بعد تراجعـه. وهـذه الحفـر مزينـة بركام من الرمل يلتف حولها فى شكل «نقانق» (سـجق) رفيـع تنفـرد حوافـه للخارج من استدارته تدريجيًا إلـى أن يتـساوى مـع الـسطح، أشـبه بمعجـون الأسنان، عندما تضغط على الأنبوبة ليخرج إلـى الفرشـاة. وكـان مـا عجبـت له هو سبب هذه التشكلات المميـزة الغريبـة؟ لـم أشـهد واحـدًا منهـا خـلال عملية نشوئه، ودائمًا ما يتم محوها بالمياه أثناء عـودة المـد تمامًـا مثـل آثـار أقدامى فى الرمل بذات الموقع.

أعلـم الآن أن هـذه الفجـوات وحوافهـا مـن الرمـل المتـراكم شـبيه «السجق»، هى من صنع ديدان صـغيرة رفيعـة والتـى تحفـر تحـت الـسطح طاردة الفضلات من الرمل المحفـور إلـى خـارج الحفـرة، ولكننـى مازلـت مرتبكا إزاء كيفية تشكيلها تلك الحواف حـول الحفـر. دع عنـك ذلـك فـالأهم

أننى تشككت – حتى فى هذه السن الصغيرة – حول أن تكون هذه الكائنات الحية الصغيرة هى المسئولة عن ذلك، وثمة نماذج عديدة فى الطبيعة لم تظهر لها أنشطة مثل أنشطة الكائنات الحية. بالطبع فعلى نفس الرمل الذى شاهدت فيه الحفر وحوافها، توجد صفوف مستقيمة من ارتفاعات ناتئة، صنعتها أمواج البحر المترقرقة على الرمال فى مجيئها إليه وغدوها عنه، ولكن يظل خط المعجون على فرشة الأسنان شيئًا مُخترعًا أو نوعًا من إيجاد حيلة للأمر سواء بالنسبة للمعجون أو الفرشاة، بل هما أكثر من ذلك، معقدان للغاية بالنسبة لعمل يصدر عن قوى غير حية وعمياء. فإن تدفق الموج يحطم ويزيل تلك الحواف الصغيرة، كما لم أعتقد أن الأمواج هى التى تنشئها.

واحدة من الطرق الرئيسية التى تميز بها الحياة ذاتها عن بقية الطبيعة، تتمثل فى قابليتها الملحوظة فى أن تمضى «ضد اتجاه المد» (المثال السابق يعد حرفيًا فى هذه الحالة) وفى صنع النظام من الفوضى. وفى المقابل تتباين الأشياء غير الحيّة فى أنها تنتج اللا نظام. وفى الواقع فإن ثمة قانونًا رئيسيًا هو الذى يعمل فى هذه الحالة، يسمى القانون الثانى للديناميكا الحرارية. ولفهم كيف بدأت الحياة، فإننا نحتاج فى البداية إلى: كيف تتوافق الحياة مع هوى أو محددات هذا القانون.

مبدأ الفساد أو التفسّخ:

أشرت فى الفصل السابق إلى أن الخلايا الحية تشبه من بعض الجوانب الآلة الصغيرة. كل الآلات تحتاج لكى تعمل إلى وقود. الحيوانات تأكل من أجل الوقود، بينما تعتمد النباتات فى وقودها، بهذا المعنى، إلى قوى الشمس. ومما لا يمكن تجنبه أو الإفلات منه كنتيجة ثانوية لذلك، هو استهلاك هذا الوقود فى شكل حرارة.

وهذا مألوف جدًا بالنسبة لأجسادنا، فالكائنات الحية تظل دافئة، بسبب الحرارة المفقودة أو المبددة من عملية استهلاك الغذاء (الوقود)، والحرارة هذه شكل من أشكال الطاقة ويمكنها أن تقود التغيّرات الفيزيائية والكيميائية، وفى القرن التاسع عشر كان العلماء والمهندسون حريصين على فهم العلاقة المتبادلة بين الحرارة والشكل وبعض التفاعلات الكيماوية، مما ساعدهم على تصميم آلات بخارية أكثر كفاءة، ومزايا أخرى. ونتيجة واحدة من هذه البحوث كانت اكتشاف قوانين الديناميكا الحرارية. ومن بينها القانون الثانى، وصلته الوثيقة بطبيعة الحياة.

ومن ناحية الجوهر فإن هذا القانون يمنع إنشاء آلة مثالية بمعنى أن أداءها له صفة الدوام. وهو يقول لنا إن كل العمليات الفيزيائية الكبيرة تقل عن مائة فى المائة بالنسبة لكفاءتها. هناك فاقد لا يمكن تجنبه وانحلال أو فساد. ولننظر إلى آلة بخارية على سبيل المثال، فإنها لا تستفيد من كل الطاقة المحررة من الفحم المحترق، كثير من الحرارة الخارجة من الغلاّية ينتشر متفرقًا، بلا فائدة فى البيئة المحيطة، جزء من طاقة الحركة يتم فقده نتيجة احتكاك الأجزاء المتحركة من الآلة. إن أحسن وسيلة لتحديد سمات هذا الفقد بمصطلحات «النظام» و «اللا نظام» أو الطاقة «النافعة» و«غير النافعة». حركة الآلة البخارية فى اتجاهها على الخط المطلوب منها، يعتبر طاقة «نافعة» أو «مفيدة»، بينما الحرارة المفقودة والمتشعبة فى الأرجاء هى من قبيل «اللا نظام» والطاقة «غير النافعة». والحرارة كطاقة اللا نظام ترجع إلى الحركة المشتتة أو المنتشرة بلا نظام للجزيئات، إنها غير مفيدة بسبب فوضى توزيعها، والقانون الثانى ذاك يقول بأن هذا الفقد لا يمكن تجنبه ولا يمكن إلغاؤه أو تغيير اتجاهه من «النظام» إلى الشكل «اللا نظامى» للطاقة ومن دون المد بالوقود، أو الطاقة المفيدة لأن الآلة المتحركة سرعان ما تلهث وتزفر الزفرة الأخيرة، ثم التوقف التام.

والقانون الثانى للديناميكا الحرارية ليس مختصًا فقط بالهندسة. إنه قانون تأسيسى فى الطبيعة ولا مهرب منه. وقد أكد الفلكى الإنجليزى سير أرثر إدينجتون

Sir Arthur Eddington أنه يحتل المرتبة العليا بين قوانين الطبيعة، حيث كتب[٢] فى إحدى المرات: «إذا ما كانت نظريتك تتضاد مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية، فلن أستطيع أن أعطيك أى أمل، فلا شيء أمام هذه النظرية سوى التداعى والانهيار فى خزى عميق». ومن السهل أن تعثر فى حياة كل يوم على أمثلة لتطبيقات القانون أثناء عمله، حالات يستسلم فيها «النظام» للفوضى. تحطم وزوال حواف الحفر وآثار أقدامى فى الرمال الذى أشرت إليهما فى صدر هذا الفصل. وفكر فى «رجل الثلج» الذائب أو إلى البيضة بعد تكسيرها. وكل هذه العمليات تنتج عنها حالات من «اللا نظام» للمادة من حالات خاضعة لـ «النظام» نسبيًا. كما أن هذه التغيّرات لا يتسنى إحداث اتجاه عكسى لها، فلن تشاهد مدًّا ينشئ آثار أقدام، أو أشعة شمس تنشئ «رجل ثلج»، وحتى أحصنة الملك ورجاله، لا يستطيعون إيقاف حالة الهرج والمرج السائدة فى المعارك.

هذا ويقيس الفيزيائيون الفاقد من الطاقة النافعة بشكل كمى من خلال مصطلح «أنطروبيا» (*) "**entropy**" الذى، وبطريقة مبسطة، يتطابق مع درجة «الفوضوية» الموجودة فى نظام ما. حينما تحدث عملية فيزيائية مثل حركة المكبس داخل (الأسطوانة) فى آلة بخارية، فمن السهل حساب كم الأنطروبيا الناتج عن العملية، وعندما نكون مسلحين بمفهوم الأنطروبيا.

لماذا هذا التحول من «النظام» إلى «اللا نظام»؟ التوزيع غير المتعادل للحرارة فى البداية يمكن النظر إليه كحالة من نظام متزايد، ما دامت الأنطروبيا المنخفضة تظل أقل من الحالة النهائية لها، فإن الطاقة تتوزع بشكل فوضوى بين أكبر عدد من الجزيئات. وفى هذا المثال فإن القانون الثانى للديناميكا الحرارية يتطلب أن تتدفق الحرارة من الساخن للبارد، ولا يمكن أن تكون فى اتجاه عكسى أى من البارد إلى الساخن.

(*) عبارة عن عامل رياضى لقياس الطاقة غير المستفاد منها من نظام دينامى حرارى مغلق (المترجم).

وعند توظيف أو تطبيق قوانين الديناميكا الحرارية على نظام عضوى حى، فيبدو أن ثمة مشكلة. لأن واحدًا من أهم مزايا أو خصائص الحيـاة هـو الدرجـة العالية للنظام فيها، ولذا فحين ينمو أو يتطور هذا النظام أو يعاد إنتاجه أو نـسخه فإن النظام يزداد. وهذا يتعارض مع القانون الثانى وما يدعيـه. ومثـال ذلك نمـو الجنين، وتشكل جزيئات الدنا، وظهور نوع جديد، والتعاون المتزايد فـى المجـال العضوى الإحيائى ككل، كل هذه أمثلة على تزايد «النظام». وتناقص الأنطروبيا.

وقد تحير العديد من العلماء المشهورين إزاء هذا التنـاقض. حتـى العـالم الفيزيائى الألمانى «هيرمـان ڤون هـيلمهولتز» "**Hermann von Helmholtz**" نفسه، وهو أحد مؤسسى علم الديناميكا الحرارية، كان واحدًا من بين أوائـل مـن اقترحوا أن الحياة إلى حد ما تطوق أو تحتال على القانون الثانى[٣]. وكـذلك أدرك إدينجتون أن ثمة تناقضًا بين التطور الدارويني والديناميكا الحرارية، واقترح إمـا هجر هذا الأخير، أو إنشاء مبدأ لللا تطور إلى جواره[٤]. وحتى شرودنجر كانـت لديه شكوكه. ففى كتابه: «ما هى الحياة؟» قام باختبار وفحص العلاقة بين النظـام واللا نظام فى الديناميكا الحرارية المصطلح أو المتفق عليها، مقارنة مـع المبـدأ الموروث فى الحياة والخاص بمزيد من النظام. حيث لاحظ أن الكائن الحى يتجنب التفسخ أو الانحلال ويبقى على «النظام» من خلال ما عبر عنه بـ «شرب النظام» عبر بيئته. وظن بذلك أن القانون الثانى لا ينطبق على المادة الحية حيث كتـب[٥]: «يجب أن نكون مستعدين للعثور على طراز جديد من هذا القانون الفيزيائى يتغلب عليه».

وهكذا هل ثمة مشكلة فى القانون الثانى للديناميكا الحرارية عنـدما يتعلـق الأمر بالنظم البيولوجية؟ لا، ليست هناك مشكلة. ليس هناك تنـاقض بـين الحيـاة وقوانين الديناميكا الحرارية. ولكى ترى أنه لا توجد مشكلة، خذ فى اعتبـارك أولاً حالة مبرّد متواضع **refrigerator** المصمم خصيصًا، لكى يـزيح الحـرارة عـن البرودة (داخل المبرد). وإطلاقها إلى ما هو ساخن (حجرة المطبخ نفـسها). ولقـد

قررت سلفًا أن المتطلب من الحرارة أن تتدفق من الحار للبارد. ولكن هناك شرطًا مهمًا. أن القانون الثانى ذلك. وبحالته التى يحدثنا عنها لا ينطبق إلا علـــى الـــنظم المغلقة. والمبرّد ليس كذلك. ولكى تجبر الحرارة لأن تتدفق فى الاتجاه العكسى أو الاتجاه الخطأ فعلى المبرّد أن يقوم ببعض العمل. وهــذا يتطلـــب بعــض الوقـــود وموتورًا ليقوداه. الموتور يستهلك الطاقة (دون أى انعكاس فى الاتجاه)، وهذا يرفع من معدلات الأنطروبيا فى المطبخ، وعندما تحسب الكميات سوف تجـد، وبـــشكل مؤكد كفايةً، أن معدل الأنطروبيا داخل المبرد يقل، بينما يرتفع معدلها فى المطـــبخ وحتى بدرجة أكبر من معدل انخفاضه (موتور المبرد تزداد درجة حرارته سخونة أثناء عمله). هذا وما نجنيه من الأشياء المتأرجحة يكون أكثر مما نجنيه من الطرق غير المباشرة. وهكذا من حيث التوازن، فإن مبردًا عاملاً (فى حالة شـــغل) يرفـــع معدل الأنطروبيا فى الكون بدرجة قليلة جدًا لا تكاد تذكر. ويصدق هذا على جميع العمليات بما فيها الحياة ذاتها، فيما يبدو أنه إنشاء للنظـــام مـــن داخـــل الفوضـــى **Chaos**. إنها يمكن أن تصنع «النظام» فى موضع ما، ولكنها سوف تصنع «الـــلا نظام» فى مواضع أخرى كثمن له.

وليس من الصعب تعقب أين يظهر اللا نظام فى النظم البيولوجية. انظر إلى أنه لكى ينمو كائن حى، فهو يحتاج إلى طاقة أو وقود، والطعام يحتوى على طاقة نافعة، والتى يتشظى بعض منها لحرارة «فاقد» أو «فاسد» خلال عملية التـــنفس، إنها الحرارة التى تحفظنا فى حالة دفـء، وإلى هذا الحد فهى نافعة أيضًا، ولكن ما لا يمكن اجتنابه أن بعضًا منها يتدفق بعيدًا فى الهواء المحيط بنا، وهو مـــا يعتبـــر «فاقدًا». وهكذا فإن «حرق» الغذاء داخل أجسادنا يولد معدلات أنطروبيا أكثر من كافية لدفع مقابل النظام الإضافى المتمثل فى إنتاج خلايا جديدة. والقصة مع النبات مشابهة تمامًا. النباتات تنمو باصطياد الطاقة الشمسية، ولكن تحويل الـــضوء مـــن الشمس الساخنة للأرض الباردة يؤدى إلى تزايد فى معدل الأنطروبيا بأكثر مما هو مقابل لزيادة النظام عبر إنتاج الخلايا الجديدة.

القانون الثانى عند تطبيقه على التطور الإحيائى عند ظهور أنـــواع جديـــدة فهذا يعنى مزيدًا من «النظام»، ولكن نظرية داروين عرفت الثمن المدفوع لتحقيـــق ذلك. إن ظهور أنواع جديدة يتطلب العديد من التغيرات بحيث يتسنى لنـــا وضـــع **القانون الثانى** كما يلى: **الأنطروبيا الكليّة فى نظام مغلق لا تتنـــاقص، أو لا تزيـــد بشكل لا محدود. سوف تكون هناك حالة للأنطروبيا تصل فيها إلى حدها الأقـــصى والتى ويبلغ عندها «اللا نظام» أقصاه، وهى التى يشار إليهـــا بـــــ «الاتـــزان» الديناميكى الحرارى»** وبمجرد أن يصل إليها هذا النظام فإنه يظل متقيـــدًا بهـــا، لا يتجاوزها.

ولكى تتضح هذه المبادئ أكثر، دعنى أضفى عليها مزيدًا من الضوء، مـــن خلال مثال بسيط يتعلق باتجاه تدفق الحرارة. إذا ما وضع جسم ساخن فى تمـــاس مع جسم بارد، فإن الحرارة تنتقل من الساخن إلى البارد. وأخيرًا يصل كلاهما إلى ما يعرف بالاتزان الديناميكى الحرارى. ولتطوير أى أنواع أخرى يتطلـــب الأمـــر تحولات أو تغيرات عديدة، أغلبها أو القدر الأكبر منها ضار، وتتعرض للإقـــصاء عبر «منخل» الاختيار الطبيعى. لأن أى بقاء ناجح لمتغيّر ما، يكون على حـــساب آلاف من حالات الموت. والأشلاء الناجمة عن هذه المجزرة الطبيعية (الاختيـــار)، تقدر بزيادة ضخمة فى الأنطروبيا، والتى لا يمكن تعويـــضها بمـــا جنينـــاه مـــن «التغير» أو «التحول الناجح»(٦).

خلاصة القول: إن النظام الإحيائى يذعن بالكامل للقـــانون الثـــانى للـــديناميكا الحرارية وما دامت تستطيع البيئة أن تمدنا بطاقة نافعـــة، فـــإن النظـــام العـــضوى سيستمر، بسعادة، فى إنقاص معدلات الأنطروبيا وزيادة النظام فى جواره المحلـــى. لكنه فى الوقت نفسه يساهم فى التزايد الوحشى، للأنطروبيا فى الكـــون ككـــل. هـــذا الثبات بما يشبه الخط المستقيم لمشكلة الديناميكا الحرارية مع الحياة، سبق أن عرّفـــه منذ زمن طويل واحد آخر من مؤسسى نظرية الديناميكا الحرارية، هـــو الفيزيـــائى النمساوى لودفيج بولتزمان **Ludwig Boltzmann**(٧): «وهكذا فإن الصراع العام من

أجل الحياة ليس معركة من أجل المادة الأساسية... ولا من أجل الطاقة... إنما من أجل أن يصبح إنتاج الأنطروبيا ممكنًا من خلال تحول الشمس الساخنة إلى الأرض الباردة».

ومع ذلك يجب أن نأخذ حذرنا هنا من أن نسقط فى شَرَك. لأن الحياة، وهى لصيقة بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية، لا يعنى أنَّ هذا القانون الثانى يشرح الحياة، هو بالتأكيد لا يفعل ذلك وللأسف فإن كثيرًا من العلماء استسلموا لهذه المخادعة. وما زال علينا أن نتمثل كيف أن التغيير فى معدلات الأنطروبيا مع البيئة يجلب هذا النوع المعين من النظام الماثل من النظام العضوى الحيوى. وليس مجرد تخصيص مصدر للطاقة النافعة، سيشرح لنا بذاته كيف تتم عمليات «النظام» هذه. ولكى نفعل ذلك، يحتاج المرء لتعريف الآلية الفعلية التى ستضاعف المخزون القديم للطاقة المتاحة لتتناسب مع العمليات البيولوجية. هذا الجزء من القصة، يشبه القول بأن وظيفة المبرد قد تم شرحها بمجرد عثورنا على مقبس (بريزة).

ولأنها تتطابق مع حالة التوازن، فإن أقصى معدل للأنطروبيا يكون مستقرًا. وعلى سبيل الحديث، فإن حالة عدم الاتزان الحرارى تكون غير مستقرة، والعمليات الطبيعية ترغب فى أن تدفع معدل الأنطروبيا إلى أقصاه. ومع ذلك فإن الواقع تكون فيه عدة حواجز تمنع القانون الثانى من أن يمضى فى طريقه، وعلى سبيل المثال فإن بخار البترول مع الهواء لا يمثلان خليطًا لحالة أقصى أنطروبيا. سيرغب كل غاز منهما فى أن يتفاعل لتشكيل عنصر أكثر ثباتًا، وأن يحرر الحرارة، وبالتالى يزيد من الأنطروبيا. وفى ظل الشروط العادية، فإن هذا التفاعل يكون مخادعًا لأن الحاجز الكيميائى يمنع من حدوثها بطريقة عفوية، الأمر يحتاج لومضة لقدح زناد التفاعل أو رد الفعل. الحالات التى تمثل استقرارا هشًا من هذا النوع يصطلح على تسميتها «شبه استقرار» "**metastable**" أو قل «ماوراء الاستقرار». وخليط بخار البترول والهواء هو واحد من أمثلة «ما وراء الاستقرار»، ومثال آخر: قلم يقف على نهايته المسطحة. إنه يحتاج إلى جهد ولو

قليلاً، لجعله متداعيًا للسقوط. وذلك بالمقارنة مع قلم يقوم على سنه المدبب، والذى يكون فى هذه الحالة غير مستقر بالكامل.

مفهوم «ما وراء الاستقرار» يمثل بالكلية وضعًا محرجًا لنجاح عملية الحياة. لأن الكائنات الحية تحصل على الطاقة النافعة من ردود الفعل الكيميائية، ولكنها لا تستطيع أن تفعل ذلك إذا ما كانت العمليات غير العضوية – قد طوّقت مجال العملية وبددت الطاقة فى البداية أى قبل حصولها هى عليها. وهكذا فإن الحياة دائمًا تسعى لمصادرة «ما وراء الاستقرار» للطاقة النافعة لكى تستغلها فى أن تُظهر نفسها. الحيوانات تستنبط طاقتها بحرق مواد عضوية، مستفيدة من نفس حالة «ما وراء الاستقرار» الأساسية، مثل خليط غاز البترول – الهواء. وكما سنرى أن بعض الميكروبات تقتلع الطاقة بسعيها وراء طرق كيميائية قد لا يصل إليها تفكير الكيميائيين.

ولكشف السرّ عن مصادر ما وراء الاستقرار فإن على الكائنات العضوية أن تجتاز الحواجز النشطة التى تحول دون تحرير اللا عضويات للطاقة. وهى تفعل ذلك من خلال استراتيجيات ماهرة مثل استخدام الإنزيمات **enzymes**، التى تحفز ردود الفعل وإلاَّ لَجَرَتْ فى بطءٍ بالغ. وحيلة أخرى تتمثل فى أنها توظف جزيئات تقوم بدور الشاحن لتكون معادلة للشرارة التى تجعل البترول يشتعل. ولأن ردود الفعل الكيمائية تجرى بمستويات مختلفة فى ظل الظروف المختلفة، فإن الكائنات الحية تستطيع التحكم فى تحرير الطاقة بإعطاء دفعات قليلة منها عند الاحتياج إليها وفى وقتها تمامًا. وهذه الحقيقة هى التى تجعل من الكيمياء أساسًا مثاليًا للبيولوجيا، ولكن من حيث المبدأ، فإن الحياة تستطيع توظيف استخدام أى مصدر للطاقة، له صفة «ما وراء الاستقرار». وكُتّاب الخيال العلمي فحصوا الحياة القائمة على بلازما متأينة **ionized plasma** أو على عمليات ذرية. فى حين أن ذلك ممكن نظريًا، فإن التنوع المحض وتعدد جوانب ردود الفعل أو التفاعلات الكيميائية يجب أن تجعل الحياة كيميائية الطابع كأفضل فرصة رهان.

معارك الحرب الحديثة تعتمد بشدة على المعلومات الموثوقة. التـــى طالمـــا لعبت دورًا حاسمًا فى قيادة الجيوش والسيطرة على المعارك عبر خطوط الهـــاتف ووصلات الراديو. ومع ذلك فإن قناتى الاتصال هاتين يعدان موضـــوعًا لتـــداخل الإشارات، كما يعرف كل من يحاول نقل تعليمات على تليفون محمول خارج نطاق الخدمة، وخلال الحرب العالمية الثانية عمدت الولايات المتحـــدة الأمريكيـــة إلـــى إجراء دراسة من خلال القوات المسلحة حول مبادئ الاتصالات، قادهـــا الباحـــث «كلود شانون» "**Cloude Shannon**"، الذى كان يعمل فى معامل تليفون بل "**Bell Telephone Laboratories**". وقد نشرت نتائج تحليلاته عام ١٩٤٩ تحت عنوان: «النظريـــة الرياضـــية للاتـــصالات» **The Mathematical Theory of Communication**، وسرعان ما أصبح الكتاب من ضمن الكلاسيكيات(٨).

نظرية شانون تمحورت على الصلة المباشرة بين المعلومات والأنطروبيـــا. تخيل حديثك مع صديق لك عبر هاتف «يهسهس»، أو كما نقول به «وش» لـــسنا بحاجة للقول بأن الضوضاء فى خلفية المحادثة لن يضيف أبدًا أى شىء للمحادثـــة. ولكن كانت بصيرة شانون الكبرى فى تركيز الضوء على أن هذه الضوضاء هـــى شكل من أشكال «اللا نظام» أو «الأنطروبيا». وبالمقارنة: فإن إشارة تمثل النظام: قارن النقاط المعدة بعناية والخطوط الصغيرة فى الكتابة (الشرطة –) فـــى شـــفرة مورس **Morse** وبين طقطقة صادرة عن راديو مثبـــت فـــى موضـــعه. وتُعامـــل المعلومات فى نظرية شانون كمضاد أو عكس الأنطروبيا لأن المعلومات أحيانًا ما تشير إلى أنطروبيا سالبة. عندما تُفقد المعلومات فى قناة اتصال مفعمة بالتـــشويش، تنهض الأنطروبيا. وهنا يصبح الأمر كمثال للقانون الثانى للـــديناميكا الحراريـــة، الذى على هذا النحو تتسم بصفة «كلِّيـــى الوجود».

وهكذا فإن تفسخ أو انحلال الإشارة يمكن النظر إليه بطريقتين متكافئتين: كما لو أن الضوضاء قد غزت القناة أو أن المعلومات قد تسربت منها. هذا التشويه أو الانحراف الجديد للأنطروبيا يمكن أن ينطبق تمامًا على النظم الفيزيائية. القانون الثانى يمكن أن نفكر فيه إما إنه زيادة أو انتشار للأنطروبيا، وإما انحراف معلومات غير مُرض فى النظام.

كانت لأفكار شانون تطبيقات واضحة على النظم العضوية الإحيائية، لأن المعلومات هى واحدة من مزاياها المُعرّفة. فالدنا تختزن المعلومات اللازمة لإنشاء الكائن العضوى وجعله يعمل. وثمة وجه واحد لغموض «النظام» البيولوجى يمكن أن يُعبَّر عنه من خلال هذا السؤال: من أين تأتى المعلومات البيولوجية؟ نظرية الاتصالات - أو نظرية المعلومات كما تُعرف بهذا الاسم حاليًا - تقول بأن الضوضاء تدمر المعلومات، وإن تلك هى العملية العكسية، إنشاء معلومات من الضوضاء، والتى قد تبدو لنا كمعجزة. ظهور رسالة هكذا من نفسها من خلال راديو ساكن أو خامد سوف تكون أمرًا مفاجئًا مثل أن يصنع المد آثار أقدام على الشاطئ الرملى، لقد عدنا إلى الوراء لنفس المعضلة القديمة: القانون الثانى للديناميكا الحرارية يصر على أن المعلومات لا تزدهر من خلال كونها عفوية أو تلقائية بأكثر مما تستطيع الحرارة أن تتدفق من البارد إلى الساخن.

حل هذه المشكلة يمكن أن يكون مرة ثانية موجودًا فى حقيقة أن الكائن العضوى ليس نظامًا مغلقًا ومحتوى معلومات خلية حية، يمكن أن تزدهر إذا ما تساقطت المعلومات المحيطة بها فى الجوار. وطريقة أخرى للتعبير عن ذلك وهى أن المعلومات تتدفق من البيئة إلى الكائن العضوى. وهذا هو بالضرورة ما عناه شرودنجر عندما قال إن الكائن العضوى يستمر فى الحياة بشرب «النظام». إن الحياة تتجنب التفسخ والانحلال من خلال القانون الثانى للديناميكا الحرارية عبر استيراد المعلومات أو الأنطروبيا السالبة من الأجواء المحيطة. وبذلك يكون مصدر معلومات الكائن العضوى هو البيئة المحيطة به.

كل من «الأيض» و«إعادة النسخ» مستنبطان من تدفق المعلومات من البيئة المحيطة إلى الكائن العضوى لأن الغذاء يحتوى على طاقة منظمة أو نافعة، وثراء فى المعلومات، فكر فى تعقيد الجزىء العضوى كنقرات صغيرة من شفرة مورس. حرارة الجسم هى طاقة فاقدة أو مُبدّدة – معلومات فقيرة – مثل خط تليفون به «وش» أو «هسيس». هكذا يدفع القانون الثانى الرسوم المفروضة عليه، ولكن مع ذلك ينمو الكائن العضوى بتركيز المعلومات مع نفسه وتصدير الأنطروبيا. وفى حالة إعادة الإنتاج، فإن محتوى معلومات الدنا تتغير بطريقة أكثر بطئًا عبر عديد من الأجيال كنتيجة للتغيرات الإحيائية العشوائية والتحولات أو التغيرات الإحيائية التى هى المعادل العضوى للضوضاء فى خط تليفونى والإشارة هى الدنا المصكوكة حديثًا. والتحولات الناجحة هى تلك التى تتكيف بشكل أكثر كفاءة مع بيئتها، ولذلك تقوم البيئة بإمدادنا بالمعلومات وبطريقة أكثر دقة تختار المعلومات التى تنتهى داخل الدنا. وهكذا تقوم البيئة بتغذية الرسالة الجينية (الوراثية) بالمعلومات عبر الاختيار الطبيعى(٩).

النظر إلى الصراع من أجل الوجود بمصطلحات المد والجزر فى المعلومات يطرح علينا سؤالاً غريبًا: هل التحولات الإحيائية من قبيل الأخبار الجيدة أو الأخبار السيئة؟ إذا كان النسخ الوراثى مخلصًا تمامًا، فإن الحياة لن يتسنى لها أبدًا التكيف مع الظروف المتغيرة، وبالتالى سيكون الانقراض هو القضاء المحتوم الذى لا يمكن تجنبه. ومن الناحية الأخرى، فإن الكثير من أخطاء إعادة النسخ ستتكرر لدرجة أن الرسالة الوراثية ستشحب، وفى النهاية تضيع. ولكى ينجح الأمر، فإن الأنواع تحتاج إلى أن تحفظ التوازن بين تحولات إحيائية عديدة وأخرى قليلة.

يمكننا أن نرى هذه «التوفيقية» وهى ماثلة خلال حيواتنا نحن. عندما كنت فى سن السابعة توفيت خالتى الكبرى بداء السل "**tuberculosis=TB**"، وكانت أول مرة أسمع ما كنا نخافه من الهزال التدريجى أو السل، وبالطبع كانت الأخيرة على

الأقل لفترة طويلة من الزمن وحتى فى بواكير خمسينيات القرن الماضـــى، كـــان الموت من هذا الداء العتيق قد أصبح نادرًا فى بريطانيا، وصار ينخفض بـسرعة فى معدلاته عبر العقود التالية حتى أصبح جـديرًا بالتغاضـــى عنـــه. واكتـشاف الإستبرتومايسين، كمضاد حيوى عام ١٩٤٣ والاسـتخدام اللاحـق للقـاح **BCG** استطاعا معًا أن يستبعدا السل كموضوع محل اهتمام صحى – حتى الآن. وفجـأة عاد السل إلى الأنباء كآخر شكل لمقاومة العقاقير متزامنًا مع ســلالة جديـدة مـن «السالمونيلا» "**Salmonella**" و«الجونورهوا» "**gonorrhoea**" (مرض مُعدٍ ينتقـل جنسيًا – السيلان) و«بنيميومونيا» "**Pneumonia**" و(التهاب جرثومى أو منـــاعى أو كيميائى حاد أو مزمن يصيب الرئتين)، وأصبح السل – معهـا – يهـدد بـأن يـكون مصدرًا خطرًا عـلى الصحة مرة أخرى. **ما الذى يحدث؟**

جزء من الإجابة يكمن فى الطريقة التى تستطيع بها الباكتيريا أن تتحـول. هذا متضافر مع قابليتها للتكاثر بأقصى سرعة، يـضمن تقريبًـا أن تظـل تبـرع مناوراتها إزاء أى دواء أو لقاح تدهمهم به علوم الطب والأدوية. وبـالرغم مـن السرعة التى يسير عليها البحث العلمى للعثور على مضاد حيوى جديد، فإن التغير الإحيائى الجرثومى يقفز خطوة أسبق.

هذا ويمثل الصراع بين الأطباء والباكتيريا نموذجًا للتطور الداروينى فى حالة العمل. ورغم أن حالة الأمراض الناجمة عن التلوث معقدة عبر عدة عوامل طبيـة، فربما يمكن اكتشاف مبدأ بسيط يتحدد تحت الخطوط المعروفة لعملية إعادة النـسخ. وكما شرحت سلفًا أن أخطاء المعلومات أثنـاء النقـل تـشبه حالـة الـضوضاء أو الأنطروبيا فى قناة اتصال. الضوضاء تتسبب فى تسرب المعلومات وهى هنا تعنـى المعلومات الوراثية. هذا التحلل فى الرسالة الوراثية يقابله الاختيار الطبيعى، والـذى يخدم كمصدر للمعلومات. إذا لم تستطع البيئة أن تمد أو تضع مرة ثانية فى الجينـوم **genome**، عبر الاختيار الطبيعى، قدرًا من المعلومات مساويًا للمعلومات المتـسربة، فإن الأخطاء سوف تتراكم فى النهاية لدرجة تختلط فيها عملية إعادة النـسخ نفـسها،

وتتوقف إعادة الإنتاج. هذه الحالة المأساوية التى هى مثال آخر لعمل القانون الثانى من الديناميكا الحرارية، أطلقوا عليها مصطلح «الخطأ المأساوى» "the error catastrophe" وكان الذى صاغ التعبير هو البيوكيميائى الألمانى «مانفرد إيجن» "Manfred Eigen".

هذا ويمكن تكميم (من كم) الأخطاء المأساوية عبر السؤال، كم عدد البِتّات bits من المعلومات فى الكائن العضوى؟ وكم منها يمكن أن يتسرب قبل أن تخضع هذه الذرية بذاتها أو المعينة فى الاستسلام للموت؟. وقد أعلن إيجن أنه كلما كبر عدد الجينات التى يمتلكها الكائن العضوى، صغر معدل الأخطاء. بحيث يتجنب «الخطأ المأساوى"، وذلك فى مقطع صغير من الأمر. وفى كلمات أخرى فإن النسخ غير المتقن يقتل النظام العضوى المعقد. والكائن العضوى ذو الرتبة العالية لديه حوالى ١٠٠,٠٠٠ جين[١٠]. قادرة على تخزين مائة مليون «بتة» معلومات أى منها يمكن أن يكون موضع خطأ، وفى تقدير موقف مبدئى إذا كان مستوى الخطأ هو واحد فى المائة مليون، فإن «الخطأ المأساوى» يمكن تجنبه. وبالمقارنة مع الباكتيريا التى لديها عدد أقل كثيرًا من الجينات، فإنها يمكن أن تتعرض للخطأ بنسبة أكبر. ويبدو أن الطبيعة لديها علم بقاعدة إيجن هذه، لأن الخلايا لدينا كبشر عملت على أن تنخفض بمستوى الأخطاء إلى واحد فى كل بليون، بينما بالنسبة للباكتيريا فإن المستوى أعلى بكثير – حوالى واحد فى كل مليون. ومن هنا تأتى مشاكل التحولات المقاومة للأدوية واللقاحات. وبالنسبة للفيروس، والذى لديه عدد أقل من الجينات فإن مستوى نسبة التحول الإحيائى يبقى أعلى بكثير. والدرجة القصوى لمستوى نسبة الخطأ بالنسبة للجنس البشرى تكون عادة دون مستوى «الخطأ المأساوى»، وهو ما يمثل حالة توفيقية بين الثبات أو الاستقرار والمرونة.

و«الخطأ المأساوى» يمثل حالة حرجة ومهمة بالنسبة لمشكلة النشوء الإحيائى من حياة أسبق. بالنسبة للنظم العضوية الحديثة، ثمة آلية لتصحيح مميز للطبعة وإصلاح للخطأ، يتم توظيفها لحفظ المستوى المنخفض للأخطاء. حيث

تستطيع الخلايا أن تكتسى برداء من الإنزيمات، ظهر عبر بلايين السنين، لتنقية عملية إعادة النسخ. ولم تكن مثل هذه الإنزيمات متاحة للنظم العضوية الأولى. ولذا كانت عملية إعادة النسخ لديهم عرضة بشدة للخطأ. وطبقًا لقاعدة إيجن، فإن هذا يعنى أن الخريطة الجينية لدى هؤلاء الأوائل (أو قبل إعادة النسخ قبل العضوى) كانت قصيرة جدًا إذ كان لهم أن يتجنبوا «الخطأ المأساوى» ولكننا هنا نقع فى تناقض. إذا كانت الخريطة الجينية بالغة القصر، فكيف تستطيع أن تقوم بتخزين معلومات كافية لبناء آلية النسخ نفسها. إيجن اعتقد أنه حتى أبسط أجهزة أو أدوات إعادة النسخ تتطلب معلومات أكثر وفرة، والتى لم يسبق تراكمها أبدًا فى سلسلة متعاقبة من الحامض النَّووى (مادة تستخرج من نوى الخلايا) "nucleic acid"[١١].
وللوصول إلى مقدار الطول الذى تحتاجه الشفرة الضرورية للإنزيمات الطابعة، فإن الخريطة الجينية ستخاطر بالوقوع بغباء فى مشكلة «الخطأ المأساوى» الذى تحاول مقارعته والتغلب عليه. ولوضع المسألة فى شكل بسيط: الخرائط الجينية تتطلب نسخًا يعتمد عليه، والنسخ الموثوق به يتطلب خرائط جينية معقدة. وعليه أيهما يأتى أولاً؟ وهذه مثل مشكلة «البيضة» و«الدجاجة» كنموذج لمتناقضة النشوء الإحيائى كما سنرى فى الفصل الخامس.

حتى الآن كنت، إلى حد ما، مختالاً فى استعمال مصطلح «المعلومات». ولكن علماء الكمبيوتر وضعوا تفرقة بين تراكيب الجمل وبنائها وإعرابها **syntax** ودلالات الألفاظ وتطورها **semantics**، فالأولى هى محض معلومات ربما تم ترتيبها طبقًا لقواعد النحو، بينما الأخيرة معلومات لها نوع من المعنى أو السياق. والمعلومات بذاتها أو من ناحية جوهرها ليس عليها أن تعنى شيئًا: قطع الثلج المتساقطة تحوى معنى تركيبيًا بالنسبة لخصوصية تركيبها كسداسية الشكل أو الأضلاع ولكن هذا النموذج لا يحوى أى دلالات، أى لا معنى لأى شىء بخلاف بنائه هو. وبالمقارنة مع الملمح المميز للمعلومات البيولوجية من أنه مفعم بالمعانى. الدنا تقوم بتخزين المعلومات المتطلبة لبناء كائن بشرى وظيفى، إنها «الطبعة الزرقاء» (الطبعة المبدئية

أو البروفة النهائية) أو الحبر الخاص بكائن متخصص ومنتج محتوم أو مقدر "predetermined"، بينما قطع الثلج المتساقطة ليست شفرة ولا تحتاج لشفرة، كما أنها لا ترمز لأى شيء على الإطلاق، بينما الجينات تفعل ذلك بشكل واضح لا لبس فيه. ولكى تشرح الحياة بشكل كامل، فليس يكفى أن تعرّف ببساطة مصدرًا للطاقة الحرة، أو معدلاً للأنطروبيا السالبة، للإمداد بالمعلومات البيولوجية. إنما علينا أيضًا أن نفهم، كيف تأتى المعلومات الدلالية ذات المعنى للوجود. إنها جودة المعلومات وليس مجرد وجودها. وهذا هو السر الحقيقى. كل هذه الأشياء عن الصراع مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية هو تقريبًا أمر قليل الشأن، كأسماك السردين الحمراء قليلة الحجم لدرجة أنها جديرة بالالتفات عنها.

مصدر المعلومات الدلالية يمكن أن يكون – فقط – متمثلاً فى بيئة الكائن العضوى، ولكن هذا يستدعى السؤال: كيف جاءت المعلومات للبيئة فى المقام الأول؟، إنها – فقط – لم تكن منتظرة كشرائح أو صفحات من الطبعة المبدئية **blueprint** قبل الوجود للطبيعة كى تحاكيها. الطبيعة ليست مُصممًا عبقريًا. وعليه، فما الذى تعرفه عن محتوى معلومات البيئة نفسها؟ بالطبع المقصود بالبيئة هنا هو موطن الكائن العضوى؟ هل المحيط الأرضى؟ هل النظام الشمسى؟ فى النهاية البيئة هى الكون كله. تتبع سلسلة التسبيب أو العلية، وستجد أن السؤال متعلق بالكونية. وهكذا نكون مواجهين بالسؤال المطلق: من أين جاء محتوى معلومات الكون؟

الفجوة الأنطروبية: الجاذبية كمنبع رئيسى للنظام:

سبق لداروِن أن انتقد بشدة هؤلاء الذين تدارسوا وتفكروا حول أصل الحياة، كرد عكسى على التفكير فى أصل المادة. واليوم يعتقد الفيزيائيون والكونيون أنهم قد عرفوا أصل المادة، وأن هذا الأصل يكشف عن أنه قابل للمقارنة مع عملية

الإحياء العضوى. أو أن الكون المرئى يشتمل على $١٠^{٨٠}$ من أطنان المــادة، أمــا مشكلة من أين أتت فكانت أشبه بالعبء أو الوباء الذى أصاب الكونيات لعديد مــن السنين. وكان الناقدون الأوائل للانفجار الكبير لا يوافقون على افتراض أن كل هذه المادة اندفعت للوجود فى بداية الزمن من دون أى سبب ظاهر. وكانــت فكــرة أن الكون تجذر من مادة، سبق أن وجدت بالفعل منذ البدايــة، كانــت هــذه الفكــرة كالصدمة بالنسبة للكثيرين فاعتبروها غير علمية بالمرة.

وكان ثمة طريق آخر فى متناول اليد. حيث اكتشف الفيزيائيون منذ فترة أن عناصر المادة يمكن إنشاؤها إذا ما تركزت الطاقة بدرجة كافية، وهى عملية قابلــة لأن تتم فى المعمل عن طريق ماكينات تسريع كبيرة. ولسوء الحظ لم تستطع هــذه الفكرة أن تحل مشكلة الكونيين، لأنها تستدعى ببساطة سؤالاً حرجًا: من أين أتــت هذه الطاقة المتطلبة للعملية فى المقام الأول؟ الافتراض بأن الطاقة فى الكــون قــد جاءت أو أُعطيت.. فقط هكذا كما لو كانت مجرد موجودة هناك فى الخارج، كــان من الصعب اعتباره نوعًا من التقديم أو التقويم لفكرة أن المادة كانت هناك بدورها «فى الخارج». وفى كل هذه الاعتبارات تظل هناك شاردة عن «المعجــزة» عــن شىء يصدر عن اللا شىء فى نظرية الانفجار الكبير.

ولكن فى ثمانينيات القرن الماضى تم حل مسألة مصدر الطاقة فى الكــون، حيث أُكتشفت المقولة بأن كل الطاقة فى الكون ربما تكون بالفعــل عنــد درجــة الصفر، وبالتالى تكون حالة من حالات «شىء من لا شىء». ويرجع السبب فى أن الكون يظل يحتوى على $١٠^{٨٠}$ أطنان من المادة. ومع ذلك تبقى الطاقة فى درجــة الصفر – يرجع إلى أن طاقة مجال الجاذبية طاقة سلبية – تعبير غريب ومميز فى آن معًا ويتصل بما سأقوله فيما بعد، والجمع بينهما يدل على أن كلا الاثنين يمكــن أن يتلاغيان، تاركين قيمة «الصفر». وثمة آلية مقنعة وُجد أنها تــشرح كيــف أن الطاقة الإيجابية تظل محتبسة فى المادة، بينما تذهب كمية مماثلة لها مــن الطاقــة السلبية إلى حقل الجاذبية وكنتيجة ذلك، فإن كل المادة الكونية قد أنشئت بالفعل من

دون مقابل ! وبمجرد أن ميز الكونيون ذلك، فقد أصبح قابلاً للتصديق افتراض أن الكون كله بدأ فى فراغ تام، وظهرت كل المادة بعد ذلك (ولكن بسرعة شديدة) كنتيجة لعمليات فيزيائية طبيعية. وحظيت هذه النظرية بقدر من الرفعة وبتقدير أنها أكثر علمية، لأنها استبعدت الحاجة لافتراض بأن ثمة قوة تفوق الطبيعة قد ساهمت فى إيجاد المادة عند بداية الزمن.

والآن إذا عدنا لمشكلة الإحياء العضوى، سنجد أننا مواجهون بمشكلة وجدانية عكسية. لأننا سنكون بحاجة لأن نشرح، ليس أصل كل هذه الأشياء المادية، ولكن أصل المعلومات إذ إن السعى وراء العمليات الفيزيائية المولدة للمادة يبدو علمًا جيّدًا، أنه يبدو من غير العلمى بالمرة التعلق بأمل أن عملية ما هى التى ستولد المعلومات. فالمعلومات ليست، من بين ما يفترض أنها هكذا تأتى من دون مقابل (مثل مادة الكون) أنك يجب أن تعمل من أجلها. وهذا بالفعل هو القانون الثانى للديناميكا الحرارية الذى نعود إليه للمرة الثانية. هذا لأن الظهور التلقائى للمعلومات فى الكون ربما يكون مكافئًا للنقص فى درجة الأنطروبيا فى الكون – بالتناقض مع القانون الثانى: معجزة.. والآن لم يعد محلاً للإنكار أن الكون يحتوى على معلومات (لأنه ليس فى حالة اتزان حرارى). وإذا المعلومات لم يتسنى إنشاؤها، فلابد أنها كانت موجودة هناك منذ البداية، كأن تكون جزءًا من المرحلة التمهيدية على سبيل المثال. والنتيجة التى يسوقنا إليها هذا هو أن الكون تواجد منذ البداية وهو مكدس بالمعلومات، أو الأنطروبيا السالبة.

ما ملاحظات الفلكيين حول المحتوى المعلوماتى للكون الباكر؟ هنا سنقع على اكتشاف عجيب هو وجود خلفية للكون من الإشعاع الحرارى، إنه أحد الأدلة التى تُكرِهُنا على قبول نظرية الانفجار الكبير، وفيما يبدو أنه تَوهّج تخلف عن المولد النارى للكون. هذه الأشعة سافرت عبر الكون دون أى بعثرة أو تعويقات بعد زمن قليل منذ الانفجار الكبير. ولذلك فإن هذا يعطينا نوعًا من اللقطات الخاطفة عما كان عليه الكون قرب بدايته. وقياسات الأقمار الصناعية حددت أن

مشهد أو طيف الإشعاع الحرارى الكونى يتطابق بالضبط مع حالة «الاتزان الحرارى». ولكن حالة الاتزان هذه تمثل أقصى درجات الأنطروبيا، والتى طبقًا لما أوضحته علاقة شانون، فهى تتضمن الحد الأدنى من المعلومات وفى الواقع فهى كافية لإعطاء معلومة واحدة (درجة الحرارة) تصف بالكامل حالة الاتزان الحرارى، وهكذا فإذا كانت خلفية الكون من الإشعاع الحرارى، لها أن تكون أى شىء فليس سوى أن الكون بدأ من دون أى محتوى معلوماتى تقريبًا.

ويبدو أنه تواجهنا حالة تناقض تثير الارتباك: القانون الثانى يمنع زيادة مجموع المحتوى المعلوماتى للكون وقت ظهوره، فإن تسنى لنا أن نقول بأن الكون الباكر قد احتوى على قدر ضئيل من المعلومات. فعلينا أن نسأل: ومن أين جاءت المعلومات الماثلة أمامنا فى الكون الآن؟ وثمة طريقة أخرى للتعبير عن المشكلة بواسطة مصطلحات الأنطروبيا. إذا كان الكون حين بدايته كان قريبًا من حالة التوازن الحرارى. حيث الحالة القصوى للأنطروبيا، كيف تسنى أن يصل (الكون) لحالته الحالية من عدم الاتزان، ونحن نعلم أن القانون الثانى يمنع من هبوط أو التدنى فى درجة الأنطروبيا.

والإجابة عن هذا اللغز أو تلك الأحجية أصبحت معروفة اليوم: إنها تكمن فى الدراسة المتأنية والجيدة لظاهرة الجاذبية. ولكى ترى التغيير الذى تحدثه الجاذبية فى الديناميكا الحرارية، فكِّرْ فى قارورة مملوءة بالغاز، فى هيئة حرارية معينة، فإذا أنت تركت الغاز مستقرًا دون اضطراب فهو لن يفعل شيئًا، إذ سيبقى فى حالة توازن. ولكن افترض أن كمية الغاز كانت كبيرة كسحابة غازية فيما بين الكواكب، هنا ستكون للجاذبية أهمية كبيرة، فلن يكون صحيحًا أن شيئًا لن يحدث، لأن النظام حاليًّا قد اضطرب، وسوف يبدأ الغاز فى التكثف، مراكمًا مواد أكثر كثافة هنا وهناك. وفى وسط هذه التجمعات أو مراكزها سيتسبب التضاغط فى ارتفاع حرارة الغاز وسوف يتسبب تدرج درجات الميل فى الحرارة فى تدفق الحرارة، وتتشكل النجوم داخل سحابة كونية حقيقية عبر هذا التصور. وتدفق

الإشعاع الحرارى من مثل هذا النجم – الشمسى مثلاً – سيكون مصدرًا (من دون مقابل) للطاقة أو الأنطروبيا السالبة، وهو ما يسيِّر كل أشكال الحياة على سطح الأرض عبر التمثيل الضوئى **photosynthesis**، وهكذا فى ظل تأثير الجاذبية فإن الغاز المفترض أنه حالة توازن حرارة، وفى درجة حرارة متماثلة أو منتظمة وحد أقصى من الأنطروبيا، وبصرف النظر عن حدوث أى تغييرات أخرى، فإن الجاذبية ستجعل الحرارة تتدفق وتسبب ارتفاعًا متزايدًا فى درجة الأنطروبيا. هذا الإغواء الجاذبى لعدم الاستقرار هو مصدر المعلومات.

وفى النهاية فإن الجاذبية تغيّر من قواعد اللعبة بطريقة واضحة وبارزة. لأنه فى نظام تكون فيه الجاذبية محسوسة، فإنه يكفى أن يكون هذا النظام له حرارة مستقرة ومنتظمة وكثافة مستقرة ومنتظمة، كى نقول إنه فى حالة اتزان دينامیکی حرارى، أو حالة حد أقصى من الأنطروبيا. نعم تخدعنا المظاهر – ذلك أن سحابة غازية يظل لديها الكثير من الطاقة الحرة لتنفثها عبر عمليات الجاذبية. حتى فى حالة الحرارة المستقرة فإن الغاز يظل فى حالة انخفاض فى الأنطروبيا. وعندما يتعلق الأمر بالكون فإن الجاذبية هى القوة المسيطرة، وعليه فلا يمكننا تجاهل تأثيراتها الديناميكية، ومن ثم لا نستطيع أن نستنبط من وجود خلفية منتظمة من الإشعاع الحرارى أن الكون الباكر كان فى واقع الأمر فى حالة توازن ديناميكى.

تمامًا كما يبدو أن الحياة «ذهبت فى الطريق الخطأ» ثيرموديناميكيًا، هكذا يبدو أن الجاذبية ذهبت كذلك فى نفس الطريق[١٢]. نمو ناعم للغاز فى وسط تراكم معقد. ظهر النظام عفويًا. وبالنسبة للمصطلحات المعلوماتية، فيبدو أن هذا يمثل عودة لنقطة البداية. لأن حالة من الغاز المستقر، بكل بساطة هذه الحالة، يمكن وصفها عبر معلومات قليلة، بينما تتطلب مجموعة نجوم، أو مَجرّة معلومات وفيرة لوصف أى منهما. وفى بعض الطرق غير المفهومة بشكل صحى، فإن كمية ضخمة من المعلومات تبقى فى النهاية كامنة، كسر محفوظ تحت نعومة حقل الجاذبية لغاز مستقر عديم الملامح. وفى حالة ظهور أو بروز نظام، فإن الغاز

يخرج من حالة الاتزان وتتدفق المعلومات من حقل الجاذبية منتقلة إلى المادة. وجزء من هذه المعلومات ينتهى إلى الخريطة الجينية للكائن العضوى كمعلومات بيولوجية.

وبالنظر للكون ككل، فإن التوزيع الهادئ المبدئى للغاز الذى لفظه الانفجار الكبير، تحول ببطء إلى بقع أو لطخات من الغاز المُكَوِّن، الأكثر لحرارة نظمت نفسها فى النهاية إلى مجرّات أولية برّاقة محاطة بالفضاء الخالى. وهذه تتحول إلى تشكيل من نجوم متوهجة. هكذا يساعد تمدد الكون على حدوث التغاير الحرارى، لأنه نتيجة للتمدد الكونى تهبط الحرارة الخلفية الكونية. وتصبح النجوم المتقدة قابلة لنفث إشعاعاتها بقسوة إلى الفضاء البارد. وتكون خلاصة هذه العمليات التى صنعتها الجاذبية أن فجوة الأنطروبيا تنفتح على العالم، الفجوة بين الأنطروبيا الفعلية وبين الحد الأقصى الممكن للأنطروبيا. ويكون تدفق ضوء النجم هى واحدة من العمليات التى تحاول إغلاق تلك الفجوة، ومن الناحية الفعلية، فإن كل مصادر الطاقة الحرة أو غير ذات المقابل بما فيها الطاقة الحرارية والكيميائية داخل الأرض، يمكن نسبتها إلى تلك الفجوة. وهكذا فإن الحياة تتغذى بعيدًا عن فجوة الأنطروبيا التى أنشأتها الجاذبية. إذن يصبح المصدر المطلق للمعلومات والنظام متمثلاً فى الجاذبية.

وفى تعقب مصدر المعلومات إلى الوراء وصولاً للجاذبية وللحالة المستقرة للكون فور الانفجار الكبير، تتركنا بدورها مع مشكلة «الدلالية». كيف برزت المعلومات ذات المعنى فى الكون؟ وهذا السر يقترب من الصلة بأصل «التعقيد»، ويشكل واحدًا من العوامل المُعَرِّفة للحياة.

وينقسم العلماء عما إذا كان التعقيد يسلك سلوك المادة أو أن شأنه شأن المعلومات، أى عما إذا كان التعقيد الكلى فى الكون يظل دوما كما هو عليه. بعض الباحثين يعتقدون بوجود قوانين للتعقيد، وإذا كانت هذه القوانين موجودة، فربما تصف لنا «كيف» لحالة بسيطة يمكنها أن تتطور طبيعيًا إلى ما هو أكثر تعقيدًا،

حتى لو احتوت على معلومات دلالية أو ذات معنى. وهذه الحالة عادة ما تسمى: «التعقيد الذاتى» أو «النظام الذاتى»، وسوف يكون لدى ما أضيفه فى هذا المجال عبر الفصول التالية. وثمة علماء آخرون يناقشون أن «التعقيد» لا يمكنه أن يُستَحضَر هكذا من وسط الهواء المحض، ولكن النظام المعقد لا ينشأ إلاّ من خلال نظام معقد آخر وعلى الأقل مماثل له فى التعقيد. إلا أن الجاذبية المعقدة عادة ما تعطى فترات توقف مؤقتة تفسح خلالها المجال للتفكير، لأنها تظهر بالطبع وعلى نحو طبيعى من حالة مبدئية بسيطة.

ولكون الجاذبية من قبيل القوى الضعيفة، فإنه من الصعب تصور أنها تلعب هذا الدور المباشر فى العمليات البيوكيميائية. ولو أن بعض الفروض من قبل الباحثين قد جرت على هذا النحو. فإن «روجر بنروز» "**Roger Penrose**"، الخبير العالمى فى الجاذبية والرياضى الأوكسفوردى، تَفَكَّرَ فى أن الجاذبية ربما تؤثر فى البيوكيميائيات عبر عمليات كمّية[١٣]. كما قارن الفيزيائى الرياضى «لى سمولن» "**Lee Smolin**" بين الحياة والجاذبية فى كتابه الأخير بعنوان: «حياة الكون» "**The life of the Cosmos**"، حيث طور فيه محاكاة أو مشابهة بين سلوك أنظمة الـ: **ecosystems** والمجرات الحلزونية الشكل أو ذات الحركة المغزلية وباستلهام نماذج كمبيوترية عن النظام الذاتى، وجد أن ثمة توازيًا مغلقًا فى عمليات استرجاع المعلومات **feedback**. وأعتقد أن الحياة بزغت فى عش صغير وبشكل تراتبى كنظام ذاتى التنظيم وبدأت فى بيئتنا المحلية الطبيعية وتصاعدت منها على الأقل إلى مجرتنا[١٤].

لو أن أفكار بنروز وسمولن كانت صحيحة وقد قيل عنها، إنها فقط تأملية جدًا – فهى ربما تكشف عن رابطة بين خصائص الطريق الخطأ للديناميكا الحرارية والتى تميز كلاً من نظم الجاذبية والبيوكيميائية. وكان يمكنها إذن أن تفسر أصل الحياة كمسألة ترتبط تمامًا وبعمق مع أصل الكون نفسه.

وفى خضم هذا المزاج التأملى، أود أن أضيف بعض الأفكار من عفوياتى. مفهوم المعلومات يظهر بوفرة فى عدة مجالات علمية مختلفة ليس فقط فى علوم الإحياء العضوى (البيولوجيا) والديناميكا الحرارية، ولكن أيضًا فى علوم الكمبيوتر، وفى عدة فروع أخرى للفيزياء. وعلى سبيل المثال ففى ميكانيكا الكم، فإن الخواص الشبيهة بالموجات **wave-like** من المادة، توصف من خلال الرياضيات بواسطة دالة موجية **wavefunction**، وهى تمثل كل شيء معروف عن النظام الذى تصفه مثل تقديم المحتوى المعلوماتى للحالة. وسوف أضيف المزيد عن هذا الأمر فى الفصل العاشر. إنما هنا أرغب فى الضغط على ملاحظة بأن السمة المميزة لوظيفة الموجة هى المسماة عادة باللا محلية **nonelocality**، إنها تنتشر عبر الفضاء وتصف علاقات غامضة تربط مع عناصر منفصلة بشدة علاقات عبر عنها أينشتاين بـ «علاقات شبحية» تجرى على البعد. وبكلمات أخرى فإن وظيفة الموجة ومحتواها المعلوماتى هى جوهر عالمى وليست كمًا محليًا، مثل كمية الحركة، أو الطاقة، أو الشحنة الكهربائية[١٥].

ويظهر مفهوم المعلومات مرة أخرى فى النظرية النسبية، ولكن بطريقة مختلفة جدًا وغريبة جدًا. لقد طالما قيل بأن النظرية النسبية تمنع ارتحال أى شيء بسرعة تفوق سرعة الضوء. وهذا ليس صحيحًا، حيث تسمح بارتحال بعض العناصر بسرعة تزيد على سرعة الضوء (هذه العناصر الحدسية تسمى تاكيونات **tachyons**). والذى تمنعه النظرية هو انتقال المعلومات بأسرع من الضوء. والمشكلة هنا تتمثل فى أنه إذا استطاع «أ» أن يبعث بإشارة إلى «ب» بسرعة فائقة **superluminal** (اللومن مقياس لتدفق الضوء من مصدر ضوئى أو قياس سقوطه على سطح: المترجم)، فمن السهل أن نستنتج مفهومًا عامًا بإمكانية إرسال إشارات إلى الماضى، مُنشئين بذلك المتناقضات التقليدية المتعلقة بالسببية. وهذه التناقضات لم تجئ عبر إمكانية إنتشار الضوء فائق السرعة على هذا النحو: الضوضاء الأسرع من الضوء لا تهدد السببية، لأنها خلو من المعلومات ولكن

الإشارات الأسرع من الضوء (مثل المعلومات هنا) هى متناقضة بعمق بالغ. تخيّل على سبيل المثال أن «الريموت» الإشعاعى، الذى يفتح باب الجراج الخاص بـى، كان قابلاً لنقل الإشارة إلى الماضى، ولنقل قبلها بيوم، فإنه يمكننى أن أضَـعْ هـذه الخاصية على قنبلة إشعاعية نشطة مُبرمجة على الانفجار إذا استقبلت أى رسـالة من المستقبل. ما الذى يحدث لو أننى ضغطت على الزر «غدًا؟» ستنفجر القنبلـة «اليوم»، مُحطمة معها الريموت نفسه، ولن أستطيع تنشطيه غدًا. ولكـن لـو لـم أُموضعه على الغد فإن القنبلة لن تنفجر. التناقضات من هذا النوع مألوفة جدًا لدى المناصرين للخيال العلمى، والذين يهبون حياتهم له. والآن من حيث المبـدأ، فـإن زناد القنبلة لم تعد ثمة حاجة لأن يكون معقد الإشارات الإشعاعية.

وإنما يحتاج فقط إلى جسيم كمى وحيد يصدر عن جهاز الإرسال **transmitte**، ما دام النظام معدًا بشكل صحيح للتجاوب مع ذلك الجسيم. وبكلمات أخـرى إذا كـان النظام مُنشًا بطريقة يكون فيها الجسيم المسئول هو إشارة لتفجيـر القنبلـة، فـنحن إذن نواجه متناقضة. ولكن الجسيم فى ذاته ليس مميزًا فالجسيم هو جسيم. ويـصبح زنـادًا مفجرًا للقنبلة أو متناقضة، إذا قام بنقل معلومات ما بين جهاز الإرسال والمستقبل. كأن نقول إنه المجرى الذى يرتحل فيه الجسيم فى الزمن إلى الخلف، وهو ما ينتج المشكلة، والمجرى هنا مفهوم عالمى. لا يستطيع الجسيم فى حد ذاته أن يكشف عمـا إذا كـان ينقل معلومات أو لا، إذ ليست هناك ميزة إضافية أو مضافة إليه محليًا (كما تفعل مـثلاً الشحنة الكهربائية) وهذه الميزة تقول: «أنا أحوز معلومات».

وهكذا تقترح ميكانيكا الكم، ومعها النسبية بأن المعلومـات هـى كونيـة أو عالمية عوضًا عن كونها كمية محلية. حيث لا يمكنك ببساطة أن تفحص موقعًا فى الفضاء وأن تعايش المعلومات. فالذى تراه – جزيئًا على سبيل المثـال – يـصبح معلومات فقط فى مجرى عالمى صحيح. سواء كان أو لم يكـن الجـزىء ممـثلاً لمعلومات هامشية أو تافهة أو مادة ذات معنى دلالى حقيقى. وربما تكون لها نتائج دراماتيكية مثل نموذج القنبلة الذى قدمناه هنا.

كيف لكل هذا أن تكون له صلة بأصل الحياة؟ إنها تقترح أننا لن نكون قابلين أو قادرين على تعقب أصل المعلومات البيولوجية وربطها بعمليات القوى الطبيعية المحلية وقوانينها. وبصفة خاصة الدعوى المتكررة – كبحث يشكل انقطاعًا مؤقتًا – والخاصة بأن الحياة مكتوبة فى قوانين الطبيعة، فهذا لن يكون صحيحًا، لو أن هذه القوانين محصورة على النوع المألوف الذى يصف التحركات المحلية والقوى المتقاربة أو المباشرة. علينا أن نسعى وراء أصل المعلومات البيولوجية فى نوع من المجريات العالمية. لأنه قد يحدث أن تكون مجرد بيئة بسيطة، تلك التى وقع فيها الإحياء العضوى. ومن الناحية الأخرى فقد تتعلق المسألة بنوع أو طراز من القوانين الفيزيائية غير المحلية، والذى لم يتعرف عليه العلم بعد. وهذا الجلاء والوضوح يضع ديناميكات المعلومات فى حالة ارتباك وحيرة مع ديناميكات المادة.

الهوامش

(١) ترنيمة الحياة "**A Psalm of Life**" لـ:هـ. دبليو لونجفيلو "**H.W. Longfellow**».

(٢) طبيعة العالم الفيزيائى "**The Nature of the Physical World**" لـ: أ.س. إيدنجتون "**A.S. Eddirgton**" **(Cambridge University Press, Cambridge, 1928, p. 74.)**

(٣) القانون الثانى، الأنطروبيا السلبية، الديناميكا الحرارية للعمليات الخطيّة " **The Second Law, Negentropy, thermodynamics of Linear Processes'** لـ: أ. أى. زوتين "**A.I. Zotin**" فى الديناميكا الحرارية للعمليات البيولوجية **Thermodynamics of Biological Processes** الذى أشرف على تحريره آى لامبرشت "**I. Lamprecht**" و أ. آى. زوتين **(de Gruyter, New York, 1978, p. 19)**

(٤) نهاية العالم: من وجهة نظر الفيزياء الرياضية " **The end of the world: From the Standpoint of mathematical physics**" لـ: أ.س. إدينجتون "**A.S. Eddington**". **(Nautre 127, 447, "1931")**.

(٥) ما الحياة؟ "**What is Life ?**" لإيروين شرودنجر.

(Cambridge University Press, Cambridge, 1944, p. 81).

(٦) فكرة المقارنة بين الأنطروبيا لاثنين من العضويات تعتبر فعليًا فكرة غامضة. ويمكن إعطاء تقويم أدق من خلال مصطلحات التعقيدات النسبية لتركيبهما الجينى. وهو ما يمكن التعبير عنه كميًا بما يسمى الأنطروبيا الحسابية نظام العد العشرى (انظر الفصل الرابع). والأمر حينئذ أن العضويات الأعلى لها أنطروبيا حسابية أعلى (وليس أكثر انخفاضًا)، وفى ظل ذلك لا يتصادم مع القانون الثانى على أى حال.

(٧) نُشرت النسخة الألمانية فى (Populare, Leipzig, 26, 1905) ويمكن الاقتباس من الترجمة الإنجليزية: التفكير فى «التعقيد» «Thinking in Complexity» لكلاوس مينزر Klaus Mainzer.

(Springer-Verlag, Berlin 1994, p. 82).

(٨) النظرية الرياضية للاتصالات "The Mathematical Theory of Communication" لـ: س. إى. شانون "C.E. Shannon" ودبليو. ويفر W. Weaver.

(University of Illinois Press, Urbana, 1949).

(٩) ربما يكون القارئ متشككًا حول كيف يمكن قيام «اختيار» مثله مثل مقدمة للمعلومات، ولكن المعلومات فى معناها الأعرض هى مجرد إقصاء للإمكانيات. وإذا كانت لنظام فيزيائى حالة إمكانية واحدة، فإننا لن نعرف شيئًا من خلال البحث فيه. والمزيد من الإمكانيات هناك، هى أن ما نعرفه أكثر باكتشافه هى الحالة الفعلية. والاختيار الطبيعى يقضى على العضويات غير المناسبة، ويختار فقط نظامًا جينيًا معينًا عبر إمكانيات كثيرة جدًا. وكل الإمكانيات الأخرى يتم إقصاؤها. وهذا يعادل إضافة معلومات للنظام الجينى.

- والدور المفتاح لمفهوم المعلومات على جميع مستويات الحياة – بدءًا بالجزيئات خلال الخلايا إلى حتى الأدمغة – مشروح بشكل شفاف ومشرق فى: وسيلة اختبار الحياة «The Touchstone of Life» لـ: ورنر لوينستين Werner Lowenstein.

(Oxford' University Press, Oxford, 1949).

(١٠) بعد استنتاج النظام المتسلسل للإنسان، أصبح واضحًا أن ١٠٠,٠٠٠ جين هو بالأحرى تقدير مبالغ فيه.

(١١) التطور من الجزيئات حتى الإنسان «Evolution from Molecules to Men» والذى أشرف على تحريره د.س. بندال «D.S. Bendall».

(Cambridge University Press, Cambridge, 1983, p. 127).

(١٢) خاصية «الطريق الخطأ» للجانبية يقترب فى ارتباطه بحقيقة أن طاقة الجاذبية هى طاقة سلبية.

(١٣) العقل الجديد للأباطرة "The Emperor's New Mind" لـ: روجر بنروز "Roger Penrose" (Oxford University Press, Oxford 1989) وظلال العقل "Shadows of the Mind" (Oxford University Press, Oxford 1994).

(١٤) حياة الكون "The Life of the Cosmos" لـ: لى سمولن "Lee Smolin".

(Oxford University Press, Oxford 1997, p. 159).

(١٥) للقارئ الذى يرغب فى المزيد من المعرفة حول «لا موضوعية الكم» وخواصه الشاذة. انظر على سبيل المثال: الشبح فى الذرة " The Ghost in the Atom" لـ: بول دافيز "Paul Davies" (المؤلف) وجوليان براون Julian Brown.

(Cambridge University Press, Cambridge 1986).

(١٦) لمزيد من التفاصيل حول كيف تُقيِّم مثل هذه الحالات التناقضية، انظر: حول الزمن "About Time" لبول دايفز (Viking London, 1995, Chapter 11).

الفصل الثـــالث

الخـــروج من الوحـــل

«إنك تعبر بدقة عن وجهات نظرى عندما تقول إننى تركت جانبًا، وعلى نحو متعمد، السؤال عن أصل الحياة، مفتقدًا للفحص الدقيق، كمـــا لو أنه معادل لفيروس فائق فى مجال معرفتنا الحالية».

تشارلز داروين

Charles Darwin[1].

كان المرحوم الإيرل مونتباتن عن بورما **Earl Mountbatten of Burma** ابـــن عم الملكة إليزبيث الثانية مغرمًا بدعوى استطاعته تعقب سلالته الملكية إلى ما وراء العام ١٠٦٦، أى إلى ما قبل هزيمة النورمان **Norman**. ولعله أمر يثير الإعجـــاب والعجـــب على مستوانا جميعًا كمراقبين خارج الأمر أو كأفراد من العامة، وهل تفعل أنـــتَ غيـــر ذلك؟

إن ألف عام من التاريخ تشمل ما يقرب من ٤٠ جيلاً. والمعروف أن كـــلاً منا له والدان، وأربعة جدود وثمانية آباء جدود، وكلما عدنا جيلاً إلى الوراء، فـــإن رقم الأسلاف يتضاعف. وباستخدام هذه القاعدة، فيبدو أن ٤٠ جيلاً ســـوف تـــضع أمامنا $٢^{٤٠}$، أو ما يقرب من تريليون من الأسلاف. وهذا الرقم يربو على عدد من عاشوا على الأرض منذ البداية، وحتى الآن وعليه يكون ثمة شيء خطأ فى العملية الحسابية.

والخطأ يكمن فى افتراض أن أسلافنا من البشر قد استمر انتشارهم فى الأرض على مدى الماضى طوال الوقت، كما تقترح أشجار النسب تلك. إلا أن الواقع يقول إنك عند تعقب شجرة نسب فى الماضى، فستجد أن خطوط الناس تتقاطع مع بعضها عند نقاط بعينها وأنها تعاود التقاطع مرة أخرى. وعليه فإن الجينات والدماء الملكية تنتشر وتصب عبر القارة، مما يجعلنا جميعًا أولاد عمومة بعيدة (أبناء عمومة دائرة كما نعبّر عنها فى مصر: المترجم)، وإننى أيضًا تجرى فى عروقى دماء ملكية، ولست محتاجًا لمثل الإيرل مونتباتن إلى توثيق المسألة والبرهنة عليها.

ومن خلال مزيد من الأفكار حول أشجار نسب العائلات نصل إلى نتيجة تظل غريبة، ليس فى أن الأنساب لم تنتشر بانتظام طوال الماضى، ولكن فيما يظهر أنها عند نقاط معينة من التاريخ بدأت فى التقارب والتجمع. ولعلنا نلاحظ أنه منذ مائة ألف سنة مضت لم تكن على سطح كوكب الأرض إلا حفنة من الـ «هوموسابينز» (الإنسان العاقل)، والذين انحدرت عنهم البشرية القائمة الآن كلها ومن دون استثناء. ونستطيع أن نقدر تلقائيًا أن تنتهى كل التجمعات القائمة لسلف واحد هو ذلك البدائى الشبيه بالإنسان (وبالنسبة لمرجعية النساء على هذه الشجرة، فإن هذا السلف الواحد بالنسبة إليهن، قد يشار إليه من خلال حواء أفريقية **African Eve**، حيث يبدو قريبًا للظن أنها عاشت هناك). وما هو أكثر من ذلك أن ما يصلح للبشر ينطبق بدوره على الأنواع الأخرى. ولبضعة ملايين من السنين قبل أن تبدأ حواء الأفريقية بأولى خطواتها عبر سهول السافانا الأفريقية قليلة الأشجار وقتئذ، فإن سلفًا مألوفًا لكل القرود والبشر سكن فى أماكن ما من الغابة الأفريقية. وهكذا بالعودة إلى الوراء إلى ما هو أبعد من الزمن، ستجد الأنواع على اختلافها تقيم علاقات تبادلية وبما يتناقض بما هم عليه الآن من تحديدات وتمايزات. بشكل واضح. ومن نصف بليون سنة مضت كانت إحدى الأسماك تمثل سلفًا لى، ومنذ بليونين من السنين كانت أسلافى مجرد ميكروبات.

ويمكن توظيف مثل هذا التسبيب في كل الكائنات الحية بما فيها الشجيرة القائمة خارج مكتبي، والعصفور المتقافز عند شباكي إلى حتى «الفطر» (المشروم mushroom) النابت فوق المرجة المخضرة خارج المكتب. لأننا لو استطعنا تعقب شجرة أنسابهم لدرجة كافية في الماضي البعيد، فسنجد أن أنواعهم المنفصلة تلك، ستتشابك في النهاية مُشَكِّلة متصلاً واحدًا. ونحن يمكننا تصور أو تخيل شجرة نسب لكل ما هو حي في يومنا هذا، أي نوع من شجرة نسب فائقة. وبصفة مطلقة، فإن أفرع هذه الشجرة الفائقة لا بد أنها ستتقارب أيضًا ليس فقط بدرجة قليلة، ولكن بدرجة كبيرة كلما ضاقت المسافة بين الفرع والساق الرئيسية للشجرة. وهذه الساق القديمة تمثل كائنًا عضويًا واحدًا وبدائيًا، أعني السلف العام لكل الحياة الأرضية: آدم ميكروبي الطابع، والذي تشكل مصيره في تعمير الأرض وتأهيلها بالسكان عبر ذرية من عدد وافر عصيٍّ على الإحصاء من الأخلاف[٢]. ولكن كيف لهذا الكائن العضوي الصغير الذي أثمر بلايين الأنواع من الذراري، أن يتواجد في الأصل؟ وأين عاش؟ ومن الذي كان قبله؟

شجرة الحياة:

حول ربيع وصيف العام ١٨٣٧، وفور عودة تشارلز دارون Charles Darwin من رحلته الشهيرة على المركب هـ.م. إس بيجل HMS Beagle، شرع في تشكيل وتأليف ما توصل إليه والذي أصبح بعدها النظرية المنسوبة إليه والخاصة بالتطور. وحول منتصف يوليو كانت أفكار دارون مازالت مبعثرة ومزاجه العام مضطربًا في تلمس الطريق. وفي وسط العديد من ملاحظاته التي سجلها في دفتر ملاحظاته والتي اتسم أغلبها بالتردد والانفعالية، إنما كان من بينهما كروكي تجريبي بسيط، والذي تبين وعلى نحو مفاجئ، أنه يشمل الفكرة المحورية، التي بدأت تتبلور في ذهنه، التي كسحت أمامها بقية الأفكار. كان الرسم الذي وضعه لشجرة لها عديد من الأفرع الشاذة، ولكنها موحية بأنها ستتقل

لنا تاريخًا كاملاً لتسلسل نسب المزروعات والحيوانات: شجرة الحياة[٣]. وبشيء من المجاز فقد كانت بالفعل رائعة حيث نقلت لنا الفكرة الضرورية والأساسية في تأصيل الحياة عبر الماضي البعيد المعتم والغامض من خلال واقعة عضوية وفريدة. ومن خلال هذا السلف الوحيد العام والمشترك – ساق الشجرة – انقسمت الحياة وتنوعت خلال أزمنة طويلة، وعبر تفرع ناجح وأنواع جديدة تمخضت عن أنواع أقدم. ونهاية الأفرع مثلت انقراض وزوال بعض الأنواع، مثل الديناصورات وطائر الدودو "**dodo**"(*).

ووجود مثل هذا الجذع الرئيسي أو ساق الشجرة هو نوع من التخمين، لأن دارون لم يكن محبًا للأفكار المفرطة التعقيد ! حول استمرارية ظهور الحياة، منشئة غابةً متشابكةً من الحياة بدلاً من شجرة وحيدة. واليوم يعتقد البيولوجيون أن تخمين دارون كان صحيحًا بشكل أساسي: الحياة على الأرض انحدرت من سلف واحد وعام.

والذى يجعلهم متأكدين على هذا النحو، ثمة عدة أسباب جيدة للاعتقاد بوحدة وعالمية السلف. وفى البداية نجد أن كل كائن عضوى معروف يشترك مع الآخرين فى نظام فيزيائى وكيميائى عام. الطريقة الأيضية لدى الخلايا وكيف تنمو، وما الذى يفعله كل جزىء ومتى؟، وكيف يتم تخزين الطاقة ثم إطلاقها؟ ومتى يتكون البروتين **proteins** وما دوره؟؛ كل ذلك يتم بنفس الطريقة تقريبًا لدى الجميع. وكذلك الطريقة التى تسجل بها الخلية المعلومات الجينية. ثم إعادة إنتاجها أيضًا من بين المشترك العام لدى الأحياء. وربما يكون أكثر الأدلة إقناعًا بوحدة الأصل وعموميته، هو أن التعليمات الجينية يتم تنفيذها عبر كود عالمى (انظر الفصل ٤). بل يصبح بعيدًا جدًا عن التصديق بأن كل هذه السمات المعقدة وذوات التخصص العالى الدرجة قد بزغت للوجود منفصلة عن بعضها على مرات كثيرة. وإنما الأكثر قربًا للتصديق هو أن هذه الخواص تمثلت فى الخلية العالمية القديمة والموروثة لدى الأخلاف الحالية.

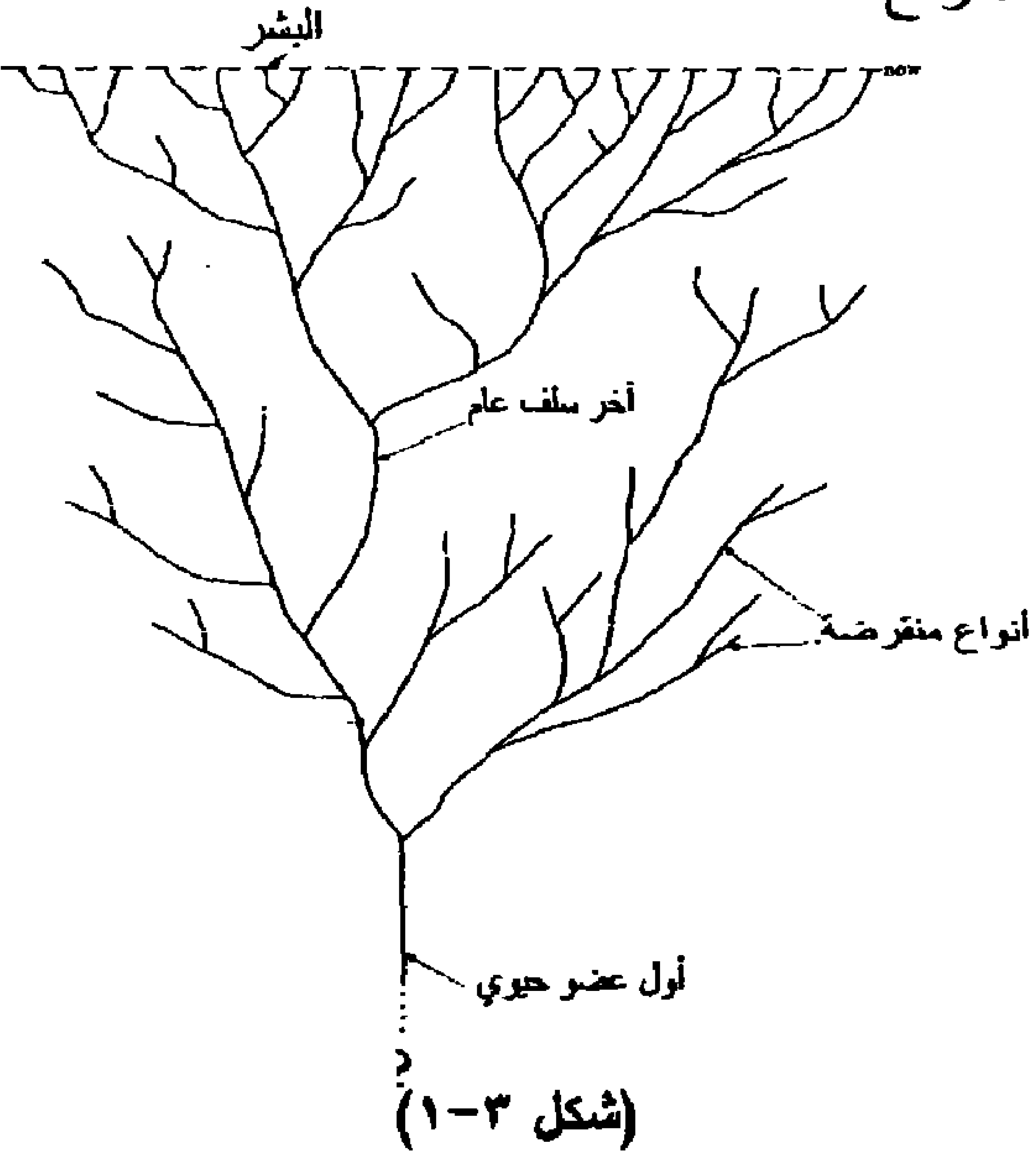
(*) طائر منقرض من فصيلة الحمام، ولكنه من حيث الحجم يفوق حجم الديك الرومى. (المترجم).

ويأتى دليل آخر على عمومية ووحدة السلف، وهو هذا التدبر الصنعى للجزيئات فى إدارة شئونها والمعروف فنيًا بالاقتصاد (لا زيادة ولا نقصان) والـ: "chirality"(*). فكل الجزيئات العضوية ليست على نفس النظامية فى شكلها، حيث تعكس صورتها عبر المرآة (فرضًا) تبدو مختلفة كاختلاف اليد اليسرى عن اليد اليمنى (إذ لديهما ما يمكن تسميته: «عكسية الاقتصاد» الذى عنيناه " opposite chirality"، فالدنا DNA تلتف فى شكل حلزونى أو اتجاه يمينى، بينما صورتها المرآوية كأنها التفاف حلزونى متجه لليسار. ومع ذلك، فإن القوى التى تجمع هذه الجزيئات مع بعضها لا تفرق بين اتجاه يمينى أو يسارى لها، فلا قانون الطبيعة قد منع جزىء دنا يسارى الوجهة من القيام بدوره، ولا أحد وجد حتى الآن أيًا منها عاطلاً عن العمل. وبالمثل، فإن كل الجزيئات العضوية تحوز الخاصية نفسها الـ: chirality، سواء يمينية الاتجاه أو يساريته، وهذا ينطبق على كل الأشياء الحية، وهو ما يشير بدوره إلى أن الحياة تحدّرت عن خلية واحدة كسلف لها، وتشتمل جزيئاتها على نفس الخاصية المشار إليها والموجودة إلى اليوم.

ومن المهم ألا يختلط علينا الأمر بين هذا السلف العمومى وأول شىء حى. ولتوضيح هذه النقطة، فإن الشكل (٣-١) يظهر مدى التشكل التخطيطى الطابع للحياة، كما تبدو لنا اليوم، وحيث يمكنك البدء من أى مكان مع فرع من الأفرع تم تعقب جذوره، وحتمًا ستصل إلى الجزع أو الساق الرئيسية. ولاحظ أن معظم الأفرع الأكثر انخفاضًا تمثل الحياة الأكثر قدمًا من ناحية خط النهاية. ومن ناحية الحقيقة، فإن أكثر من ٩٩٪ من كل الأنواع، التى سبق أن عاشت، قد اندثرت الآن وانقرضت. وإذا ما بدأت بقمة الشجرة (والتى تمثل الحياة اليوم) وتتبعت الأفرع إلى أصولها المتأخرة العامة، وهى نقطة يمكن أن تضللنا، فإنك لن تجد قاعدة الفرع متصلة بالجذع الرئيسى على الإطلاق، ولكنها فوق وأسمى من الأفرع الأدنى. وهذه الأفرع الدنيا تمثل الأنواع المنقرضة والتى تحدّرت عن أصول انقرضت بدورها. وعلى الجملة، وعلى نحو حرفى يمثلون النهايات الميتة فى شجرة الحياة.

(*) وهذه الكلمة تستخدم كصفة للجزىء وتعنى أنه لا يفرض انعكاس صورته فى المرآة. (المترجم).

ومعظم هذه النهايات الميتة كانت بلا شك كائنات تشبه الحياة الباقيـــة حاليًّـــا من حيث حالتها البيوكيميائية. ومن المفهوم أيضًا، أن بعض الخلايا كانت تـــستخدم عمليات دخيلة أو غريبة والتى لا تعثر لها على مثيل فى أى نوع حى حاليًّا. وعلى سبيل المثال فربما وُجدت ميكروبات توظف شفرة جينية مختلفة. وربما وَجدت هذه الأنواع الغريبة أنها فى حالة تنافس مع نوع حيواتنا، وربما تم دفعهـــا للانقـــراض لأنها كانت أقل كفاءة فى التأقلم. ومن الممكن ألا تكون كلها قـــد ماتـــت بالكامـــل. وربما تزل أقدام البيولوجيين يومًا ما، عبر ميكروبات غريبة فى بيئة غير عاديـــة فى مكان ما على الأرض، أو على المريخ، والتى يمكن أن تكون أحياء باقية مـــن واحد من الأسلاف التى تمثلها الأفرع الأدنى فى شـــجرة الحيـــاة. وهـــذا العـــالم الميكروبى المفقود ربما سيعطى العلماء فرصة هائلة لدراســـة عمليـــات الأيـــض والجينات فى تلك الأنواع.



(شكل ٣-١)

شجرة الحياة على نحو بالغ التبسيط، حيث نجد جذع الشجرة ممثلاً لأول شىء حى، وتمثل أيامنا الحالية الأفرع القممية فى الشجرة والتى من بينها الكائنـــات البشرية. والأصل المشترك العالمى للحياة الباقية بعد، يقع فى منتصف الشجرة تقريبًا عند بداية شكلها الشبيه بالشوكة، والذى يصل بين أفرع الشجرة العليـــا.

أما الأفرع السفلية، فهى تمثل الكائنات العضوية التى لم تبق لها أسلاف حيــة. والرسم على النحو الموضح قد بالغ فى أعداد الأنواع البعيدة فى مقابل ما بقى حيًا من أنواع.

وبطريقة تثير الفضول، ربما تحتوى عمليات الأيض (تمثيل الطعــام) لــدينا على بقايا غير ضارة لنظام بيوكيميائى بديل، نبذته أسلافنا منذ أمد طويل، ولكــن استبقته بطريقة مقدرة حتى الآن، بعض العضويات الحية المنقرضــة. وإذا كــان الأمر كذلك، فستكون أجسادنا مشتملة على ذكرى خابيــة للحيــاة البديلــة والتــى انقرضت منذ بلايين السنين. وهذه الفكرة ليست تأملية على نحو ما تبــدو عليــه. فكثير من الخلايا (بما فيها خلايانا) تحتوى على وحدات إضــافية معروفــة باســم ميتوكوندريا "**mitochondria**"(*). ومن المعتقد أنها بقايا آثارية لميكروبات كانــت مستقلة ثم غزت الخلايا لتقتلع ضيافتها الدائمة، وهى عمليــة تعــرف بالتكافــل أو التعايش بين مُتَعَضِّيَيْنْ غير متشابهين "**symbiosis**".

ولنرى كيف يتم مثل هذا التعايش، تخيل معركة تقليدية بين الباكتيريا، سوف تهاجم الميكروبات آكلة قريناتها من دون شفقة، كما بين أسماك القرش والأسود فى معركتهما من أجل البقاء. ومع ذلك فعلى مستوى الباكتيريا، فإن عمليــات الهــضم تتناظر مع عملية العدوى: (أ) ينتهى داخل (ب) فإذا ما انتــصر (ب) ومــات (أ)، فنحن نسمى هذا غذاءً وإذا ما انتصر (أ) وهلك (ب) نسمى الأمر عدوى. ومع ذلك فقد يحدث أن (أ، ب) يصلان إلى موقف يحرج فيه كل منهما الآخر كما يحدث فى حالة وضع الشاه (الملك) فى مباراة شطرنج فى موقف حرج تمهيدًا للقضاء عليــه، ومن ثم يتوافقان على أن يبقيا معًا فى حياة متكافلة، ليوفر كل منهما ما يفيد الآخر. وثمة حالات عديدةً من هذا التكافل فى الطبيعة مثل الحيوانات أو النباتــات التــى نسميها بالطفيلية "**parasites**". ونحن لن نحتاج للنظر إلى أبعد من نظامنا الغــذائى

(*) وهى عبارة عن مكونات دقيقة داخل الخلية تأخذ الشكل الكروى أو العصوى وتعد من المراكز المهمة لتوليد الطاقة الناتجة عن أكسدة المواد الغذائية ومفردها «مُتقدِّرة» "mitochondrion" (المترجم).

الذى يعج بحشود كبيرة من الباكتيريا تساعدنا فى هضم الطعام وتمثيله. وفى الوقت نفسه تنعم هى بحياة جيدة. نحن إذن لا يمكننا أن نستمر فى الحياة من دون الميتوكوندريا التى تقوم بدور الوحدات المنشِّطة للخلايا.

هذا، والنظرية الخاصة بأن هذه الميتوكوندريات كانت فى السابق كآفات عضوية مستقلة، يمتد عمرها لقرن من الزمان، ولكن أثيرت من جديد لتتصدر الموقف فى أخريات الستينيات من القرن الماضى بمعرفة لين مارجوليس **Lynn Margulis**. وطبقًا للنظرية فقد استهلت حياتها، مستخدمة نظامها الأيضى وإعادة الإنتاج، على نحو مسالم مع الخلايا المضيفة. ومع تقدم الزمن فقد اقتضى التطور أن يسلبها الكثير من استقلالها الأصلى، ورضخت أنشطتها لصالح الخلية المضيفة، ومع ذلك احتفظت الميتوكوندريات ببعض من مادتها الجينية كذكرى خافتة لاستقلالها السابق.

ومنذ طبعت لين مارجوليس نظريتها، تنامت الأدلة المعضدة لها. والآن يبدو أن الميتوكوندريات ليست وحدها فى هذه الخاصية، فهناك غيرها يعيش داخل الخلية من تلك الكائنات الأنبوبية الشكل **microtubules**(*)، والزوائد الشبيهة بشكل السوط **whip-like flagella**(**) وغيرها، وكذا فإن النقاط الملطخة للأغشية التى تحمى الخلايا من التسمم الأكسجينى، يمكن اعتبارها كآثار ضئيلة متبقية من غزو الباكتيريا. وفى النباتات الخضراء، فإن الأجزاء منها المحتوية على الكلوروفيل، والتى تقوم بالدور الحيوى فى عملية التمثيل الضوئى (المقابلة للأيض فى المملكة الحيوانية)، يمكن بدورها أن تكون مُتحدِّرة عن الباكتيريا المعروفة بلونها الأزرق الداكن **cyanobacteria**. وعلى ذلك فإن بعض أفرع شجرة الحياة ربما تنتهى إلى خلط حياتها مع آخرين عوضًا عن أن تصل فى النهاية إلى فرع ميت أو منقرض.

(*) بنية أسطوانية الشكل (أو أنبوبية) تتواجد من مادة كثير من الخلايا، ويزداد عددها أثناء فترة انقسام الخلايا، كما يشكل عدد محدد منها ما يعرف بالأهداب الخلوية (المترجم).

(**) مستفيد هدبى يوجد فى أهداب أو ما يعرف بسياط الجراثيم المهدبة. (المترجم).

الميادين الثلاثة للحياة:

عندما كنت فى المدرسة، علمونا أن الأشياء الحية تنقسم إلى مملكتين كبريين: مملكة النبات ومملكة الحيوان. ولكن بعض الكائنات وحيدة الخلية كالأميبيا **amoebae**، فقد كان ينظر إليها كأشكال بدائية متخلفة وغير متطورة من الحيوانات، ومن المنظور نفسه كانت الطحالب أيضًا تعتبر نباتًا بسيطًا. كما لم يكن يتم تشجيع أى تساؤلات حول الباكتيريا. وللأسف فقد تم تضليلنا. وفى عام ١٩٣٧ قُدِّمت لنا خطة أفضل، حيث قسمت الحياة إلى مادة وراثية غير محاطة بغشاء نووى يحميها وتعرف باسم بروكاريوت **prokaryotes**، وأخرى محاطة بهذا الغشاء وهى الأعلى تطورًا وتعرف باسم إيكاريوت "**eukaryotes**"(*). والأولى منها تكون صغيرة بالنسبة للكائنات العضوية وحيدة الخلية التى تفتقد جزيئات الخلية وبعض البناءات الأخرى المعقدة. إنها تشتمل على الباكتيريا وتقوم الإيكاريوتات بباقى العمل. ولكن ماذا عن تكوينات تتألف فما هو أكبر وأكثر تعقيدًا ككائن عضوى وحيد الخلية مثل الأميبيا، بالإضافة لكل الكائنات متعددة أو كثيرة الخلايا، والتى يمكن التفكير فيها كمستعمرات لخلايا الإيكاريوتات. ولو أن تكاثر متعددات الخلايا لم يبدأ إلا منذ حوالى ٦٠ مليون سنة، لقد مهدت تلك الإيكاريوتات الطريق إليها فى وقت أبكر من هذا.

(*) وقد أُستخدم هذا المصطلح prokaryote لأول مرة بمعرفة العالم الفرنسى شاتون للدلالة على خلايا ذات مادة وراثية لا يحميها غشاء نووى، وجينات المادة الوراثية فى هيولى الخلية. وتقابلها أنوية ذات تطور عالى الدرجة وتكون مغلقة بأغشية نووية تحمى المادة الوراثية بداخلها وهى التى يسبق تسميتها الحرفان eu، ويعنيان عند استخدامهما فى بداية الكلمات «الأفضل» أو «الأحسن». (المترجم).

إن الشجرة الموضحة بالشكل (٣-١) تخطيطية بالكامل، ومن حسن الحظ أنه يمكن عملها بوجه كمي آخر للمسألة حيث تظهر الفروق الجينية بين الأفرع. وذلك لأن الخلية عرضة لكي تنسخ أخطاء في وقت إعادة الإنتاج، ومن الناحية المبدئية فإن الخلايا المتشابهة من الناحية الجينية، ربما تندفع بعيدًا عن تلك الأخطاء وذلك إلى حين تأخذ عملية التحوير أو التبديل في الإحياء العضوى، طريقها للاستكمال عبر تتابع الزمن، فإذا ما تمت عملية التحور، فإن نوعًا جديدًا يظهر. وكقاعدة عامة، فإنه كلما كبر عدد التغيُّرات بين نظامين من الجينات، بَعُدَ وضع النوع في شجرة الحياة. فعلى سبيل المثال تتشابه جيناتك بالتأكيد مع ما لدى من جينات، ولكنها أقل تشابهًا مع تلك التي لدى القرود، وتظل أقل بالنسبة لما لدى السلاحف، وكذا ما لدى حبة البازلاء من جينات. والفروق بين تركيبات أو تشكلات الجينات من الممكن قياسها بدرجة من الدقة من خلال تقنية تراتب البروتين في الخلية، وأيضًا عبر الحوسبة الكمبيوترية والنسبة بين المواضع في شجرة الحياة.

ومن الممكن مقارنة الإجراء نفسه مع دراسة تطور اللغات، فعندما استقر مقاتلو الفايكنج **Vikings** في أيسلند **Iceland** ظلوا في البداية يتكلمون بلغة أجدادهم الإسكندنافيين، ومع الوقت وقلة اتصالهم بباقي الأراضي الأوروبية، تأكد تحول أيسلند إلى تلك اللغة، حتى أصبحت الآن معتبرة كلغة منفصلة بذاتها، وأن ذلك يعتبر حقًا لها. ولكن لو عُدّتَ للخلف خمسمائة عام، فإن الفروق لم تكن كبيرة. ودرجة التشعب أو الاختلاف بين اللغتين تعطينا مقياسًا يدلنا على أي مدى تطورت كل من الأُمَتين بشكل مستقل عن الأخرى.

وقد أجريت دراسة منذ ٣٠ عامًا بشأن البروتين المسمى «سيتوكروم س.»(*): **"cytochromc C."** والذي يستخدمه العديد من الكائنات العضوية بما فيهم البشر. وكما سأصف الموضوع تفصيليًا بعد قليل، فإن كل البروتينات تتكون من

(*) وهو أحد أفراد عدد كبير من الأصبغة الحيوية الواسعة الانتشار في الأنسجة الحيوانية والنباتية والتي تلعب دورًا مهمًا في عمليات الأكسدة وتعني الإلكترونات. (المترجم).

وحدات جزيئية تسمى الحامض الأمينى "amino acids"، والسيتوكروم C يتكـون من مادة متنوعة إلى عشرين نوعًا منها تقريبًا. وبمقارنة تراتبات الحامض الأمينى فى السيتوكروم C المأخوذ من أنواع مختلفة، فإن تقديرًا يمكن إنشاؤه حـول مُـدَد التطور التى ارتحلت من نوع إلى آخر. ولكـى أعطيـك مثـالاً متماسـكًا، فـإن السيتوكروم C البشرى يتماثل مع قرينه المأخوذ من الريض "rhesus" (وهو قـرد هندى قصير الذيل: المترجم)، فى ما عدا نوع واحد من الحامض الأمينـى، فـى الوقت الذى يوجد فيه ٤٥ فرقًا بين البشرى منه والمأخوذ من القمح. الكل تقريبًـا يعلم بأننا البشر أكثر انتسابًا للقرود، بالمقارنة مع انتسابنا للقمح، وهذه الدراسة التى تحدثت عنها تطلعنا إلى أى مدى يكون ذلك. والنقطة المهمة فى الأمر أنه، ولو أن ثمة فرقًا كبيرًا بيننا وبين القمح، إلا أننا نشترك معه بدرجة كافية. وبالنسبة لبنـاء جزيئات السيتوكروم C، فهى تؤكد أن لنا فى البدء سلفًا مشتركًا.

وبشكل عام، فكلما ابتعد نوعان من الناحية الجينية، أعنى بهذا أنهما انقـسما وتم تحولهما منذ أمد طويل فى إطار شجرة الحياة. (ومن سوء الحـظ أن عمليـة التحول التطورية هذه تستغرق آمادًا طويلة مـن الـزمن)، وطالمـا أن الإحيـاء العضوى لا يقع بشكل له هيئة أو ترتيب معين فى التاريخ. فإن تحديد وقائع بروز الأفرع، هو من قبيل الأمور الصعبة.

وفى أواخر سبعينيات القرن الماضى أُجريـت أبحـاث وطبقـت بأسـلوب منظومى على بروتين والحامض الجزيئى لميكروبات بعينها، كما خـضعت لهـا أنواع أكثر تعقيدًا ومن رتب أعلى. وكان فى مكان الريادة بين الباحثين فـى هـذا المجال كارل وويز **Karl Woese** من جامعة الللينويز **Illinois**، إلا أن أبحاثـه لـم تترك إلا أثرًا قاصرًا أو قليل الأهمية. وكان البيولوجيون قبله، قد افترضوا بـشكل طبيعى أن البروكاريوتات قد فاقت فى أهميتها الإيكاريوتـات لعـدة بلايـين مـن السنين، وأن هذا الوضع يجعل الأولى فى مجال الزهـو لانتـسابها إلـى الـساق الرئيسية لشجرة الحياة المعروفة لنا. والاثنان معًا بشكل أساسى قد اعتراهما خلـل

ما. إلا أنه وجد أنه ليس ثمة اثنتان من مجالات الحياة، وإنما ثلاثة كبار. وهو ما عرف فيما بعد على أن البروكاريوتات تطوق مستويين متميزين عن بعضهما، من حيث التركيب الجينى للخلايا، مطلقًا عليها اسم. «إيباكتيريا» **eubactria**(*) وأرشى باكتيريا **archae bacteria**(**). ومن قبل كارل فقد صنفت الأرشى باكتيريا، على نحو خطأ، على أنها نوع غريب من سلالات الجراثيم. إلا أن كارل أظهر لنا أنه على الرغم من مظهر الأرشى باكتيريا المضلل باعتبارها تشبه الجراثيم، فإنها بمصطلحات الكيمياء العضوية مختلفة تمامًا، كما يختلف الإنسان عن الديدان المعروفة باسم إى-كولى **E.coli**(***).

هذا، واقترحت أبحاث كارل أن تعاد تسمية المجالات الرئيسية للحياة:

١. أرشيا **archaea** (وهى تفيد أن شيئًا فى بداية تشكله أو قديم – المترجم).

٢. باكتيريا **bacteria** (الجراثيم).

٣. إيكاريا **eucarya** (وتعنى النواة أو الخلية السوية بلا نقصان أو تَزيّد فى تركيبها – المترجم).

وقد انشطرت بعيدًا عن بعضها منذ أكثر من ثلاثة بلايين من السنين، ومن ثم فإن هذا التشعب الثلاثى الأفرع فى شجرة الحياة قديم وعميق فى التاريخ، وربما وقع بعد بدء الحياة بقليل (انظر الشكل ٣-٢). وهذا هو الذى أبرز فورًا أهمية السؤال الذى لم يتم حله بعد عن كيف لهذه المجالات الثلاثة أن تموضعت على شجرة الحياة؟، وأيًا منها كان الفرع الأسبق من غيره؟ وكان من أبرز الأدلة فى

(*) رتبة من الجراثيم تتألف من خلايا بسيطة غير متمايزة كروية أو عصويّة الشكل.

(**) جراثيم بدائية أو فى بداية تشكلها قديما.

(***) واسمها الكامل escherichia coli ومسماة لدينا «إسكاريس»، وهى واحدة من بين ديدان عديدة تعيش فى أمعاء الثدييات، ولأنها تتكاثر عن طريق الانقسام البوغى فهى وافرة جدًا (تتراوح أعدادها فى الغائط اليومى الآدمى ما بين ١٠٠ بليون و ١٠ تريليونات) ويكفى فى القضاء عليها وتثبيط تكاثرها الغليان البسيط أو البسترة (التعقيم)، وهى تتكاثر فى الأماكن الدافئة وتنمو فيها. (المترجم).

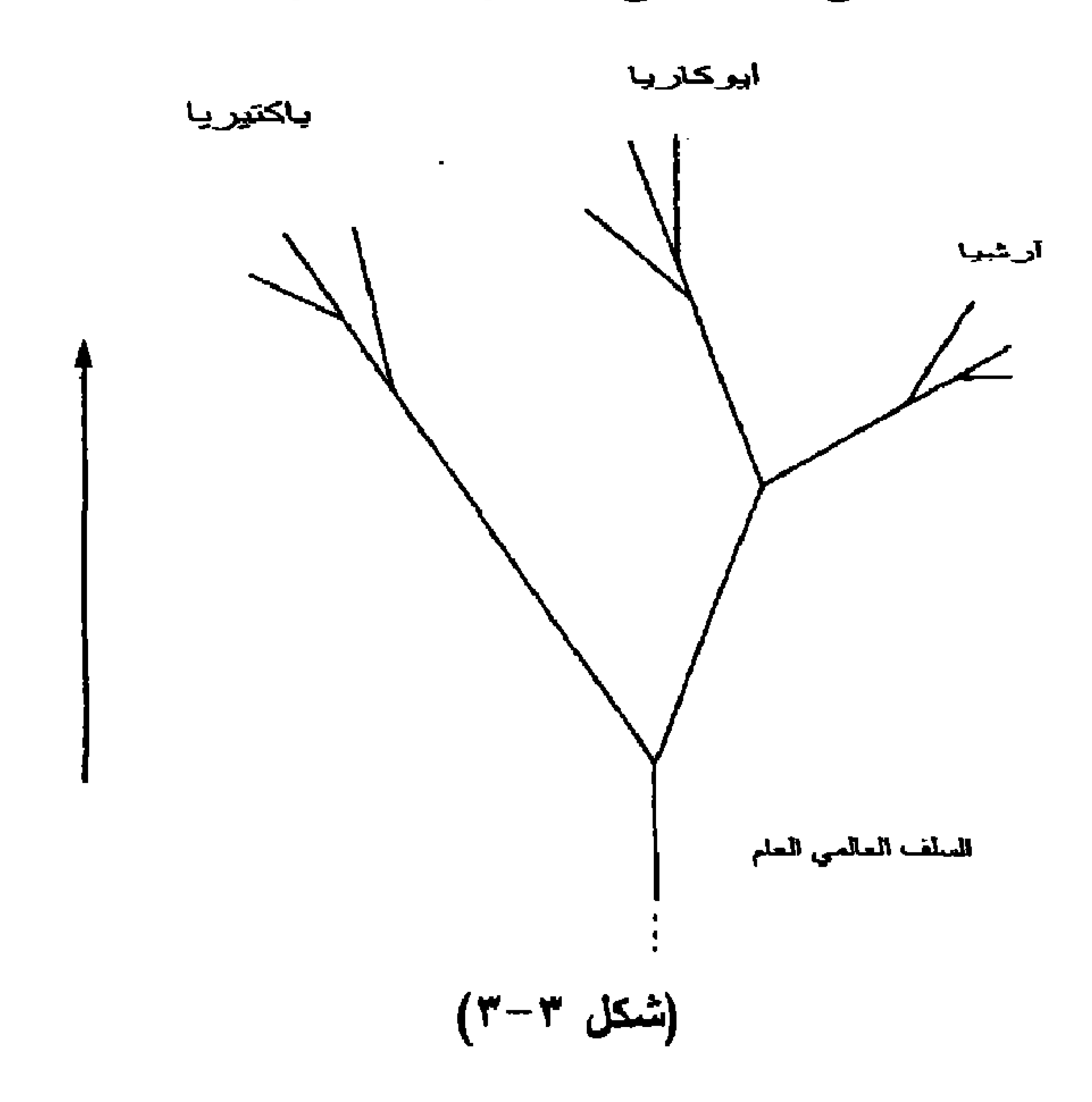
هذا المجال ما نتج عن أبحاث كارل ستيتر "Karl Stetter" من جامعة ريجنسبرج "Regensburg" بألمانيا، وكل من نورمان بيس "Norman Pace" وسوزان بارنز Susan Barns من جامعة أنديانا[٤] "Indiana" اقترحوا: برسمٍ إيضاحيٍ، كالذى يبدو بالتقريب فى شكل (٣-٢).

وليس لدى البيولوجيين أى شك فى أن مجالات الحياة الثلاثة يجمعها فى الأصل سلف واحد. وبالرغم من الانقسام الحالى بين المجالات الثلاثة، فإن الطابع الجينى وأدوات أو أجهزة التمثيل الغذائى هى نفسها، كما يتشاركون فى كثير من التخصصات المعقدة. ومن هذا يتضح أن الأصل العام لها جميعًا كان كائنًا عضويًا غاية فى التعقيد، وليس جوهرًا بدائيًا ظهر للوجود مؤخرًا. ولقد أشرت فى الفصل السابق إلى أن هذا السلف العام ليس هو أول من كان حيًا. وإذا كان هذا الأخير على صلة ببث الحياة للمجالات الثلاثة، فلا شك سيكون موقعه عند القاعدة الحقيقية لشجرة الحياة.

(شكل ٣-٢)

تقنية التتابع الجزيئى تظهر أن الحياة الأرضية تنقسم إلى ثلاثة مجالات متميزة عن بعضها البعض، كل جزيئات الكائن العضوى، هى بالتحديد تابعة لمجال الإيكاريا "eucarya"

هذا وقد أحدثت تقنية تعاقبية الجزيئات ثورةً فى مجال دراســة الميكروبــات، كما سلطت الضوء على غوامضَ جديدة بشأن بدايات الحياة. ومن تأثيراتها مــثلاً أن جعلت ثمة فائدة للأحفورات الجزيئية الكامنة فى الخلايا الحية. كما تشير النتائج إلــى امتداد تاريخ المجالات الثلاثة للحياة مع أعمق تفرعات فى الأنواع، والتــى وقعــت عبر الثلاثة بلايين سنة الماضية، وكيف وقع هؤلاء الباحثون وما وجدوه، فى خانــة أو ساحة الأساليب التقليدية فى النظر فى أحافير الصخور القديمة.



(شكل ٣-٣)

أحد التحديات الكبرى لعلم الميكروبولوجى يتمثل فى موضعه أصل شجرة الحياة فى اتصالها بالتشعبات الثلاثة التى رصدها مخطط الشكل (٣-٢). فــى الــشكل عاليه فإن السلف العام (المشترك) يقع فى مكان ما بين الباكتيريا والآرشى.

أقــدم أحفورة صخرية:

تعتبر منطقة البلبارا **Pilbara** فى غرب أستراليا واحدة من أعلى مناطق العالم حرارة، وأكثرها انعزالاً، وأقلها من حيث الكثافة السكانية. وعلى بعد حوالى

٤٠ كيلومترًا غرب مدينة ماربل بار **Marble Bar** يــقع المســمى خطأً «السمات الجــيولوجية للقطــب الشمالى» **geological feuture of North Pale**. وفى المنطقة الحافلة بالهضاب من هذا الموقع وفى عام ١٩٨٠، اكتشف طالب الجيولوجيا جون دنلوب **John Dunlop** أقدم أحفورة صخرية معروفة فى العالم. وبداية: فإنها لم تكن تشبه كثيرًا الأحفورات. لا توجد هنا أصداف حجرية متبقية من بعض الرخويات المنقرضة ولا واحدة من المفصليات المنقرضة ثلاثية الفصوص، وإنما فقط بعض الهضاب الركامية الغريبة. وهذه البناءات تشكلت حين ضمت الباكتيريا المائلة للزرقة جدائل من الحبوب المعدنية، تراكمت على بعضها طبقة فوق طبقة مشكلة سلسلة من الأكمات شبيهة بالوسائد **cushion-shaped**، وهى تماثل ما يمكن العثور عليه اليوم فى حالة تشكل على بعد ٥٠٠ كم تقريبًا من القطب الشمالى عند ما يسمى خليج القرش **Shark Bay** على الشاطئ الغربى لأستراليا[٥]، وهى أيضًا كانت قد تشكلت فى المادة التى ترسبت فى البحيرات البركانية الناجمة عن الأنهار الجليدية، والتى يُعتقد أن عمرها يرجع إلى ٣,٥ بليون سنة. وبعد عثور دنلوب على أحفورته بوقت قصير عثر فريق من الأحاثيين (علماء الأحفورات الآثارية) **palaeontologists** من كاليفورنيا يقوده ويليام شوب **William Schopf** على علامات أحفورات ضخمة منفردة لميكروبات لها نفس العمر الزمنى، بالقرب من تلال واراوونا **Warrawoona**[٦]. وبدت هذه الأحفورات كأجزاء رفيعة من شعيرات مطمورة فى الصخر الصوانى غير النقى **chert**، ومال الاعتقاد أو الظن إلى أنها من الباكتيريا الزرقاء المتكونة فى بحيرة قديمة أدفأتها حرارة الشمس[٧].

وبالاتجاه شمالاً من منطقة بلبارا، فإن أقرب مدينة معقولة هى مدينة دارون **Darwin**، والتى سميت باسم ذلك العالم العظيم. وكان دارون قد أصابته الحيرة للغياب الظاهر لأحفورات الفترة السابقة عن العصر الكامبريانى **Cambrian**، أى قبل ٦٠٠ مليون سنة مضت. كانت الأحفورات هناك بالفعل، ولكن قبل العصر

الكامبريانى كانت المخلوقات صغيرة لدرجة يصعب معها تعقبها وتحديد مواقعها بمعرفة صائدى الأحـــفورات العاديين. وحـــتى خـــبراء الأحاثة المحترفين، والذين تعضـــدهم الحـــكومة (وزارة التقنيـــة الفنية)، لم يكشفوا إلا عن مواقع قليلة تضم أحفورات صغيرة بحجم المايكرو **micro** أقدم من ٢,٥ بليون سنة، وظلت مستمرة فى مواقعها.

إذا كان قد تم تعريف الأحفورات المتناهية الصغر التى وُجدت فى واروونا على نحو صحيح بأنها باكتيريا زرقاء، فإن ذلك يعنى أن الحياة قد اكتشفت التمثيل الضوئى **photosynthesis** مبكرًا، منذ حوالى ٣,٥ بليون سنة مضت. والتمثيل الضوئى عملية كيميائية معقدة ومميزة، حتى إن الكائنات العضوية فى واروونا كانت بالفعل لها صلة بالأمر، وأن مزيدًا من بعض السلف البدائى قد عاش طويلاً قبل هذه الفترة.

ولكن هل تركت حقًا هذه الميكروبات أى أثر لها؟

الفرصة محدودة فى العثور على أحفورات صغيرة سليمة لم يسبق مسها فى منطقة غرب أستراليا. ومن حسن الحظ أن ثمة طرقًا حاذقة ورقيقة أخرى، حيث استطاعت هذه الأحياء العضوية أن تترك بصمات لها فى الصخور: بتبدل أو تغيير التركيبة الكيميائية. وعلى سبيل المثال ما يمكن لوحدة ذات طابع **ecosystem**(*) فى منطقة بحرية ضحلة المياة وذات عمق قليل، أن ترصد ما يمكن أن تكون قد وضعته مواد عضوية فى الترسبات الكامنة فى القاع، منشئة طبقات من الرواسب الغنية بالكربون، فيما يشبه جبانة للميكروبات. وشىء من هذا، ربما هو الذى حدث فى التَشَكُلات الأشبه بالأصفاد الحديدية فى إيسوا **Isua** بجرينلاند **Greenland**. حيث كان الرائد فى مجال دراسة التكوينات الكربونية لهذه الصخور هو مانفرد

(*) وتمثل إحدى الوحدات البينية الموجود بها كائنات حية وتحيطها كائنات غير حية، لقياس ما بينهما من تأثر وتفاعل متبادل، وذلك فى بقعة محدودة. (المترجم).

شيدلوسكى **Manfred Schidlowski** من معهد ماكس بلانك للكيمياء بألمانيا، والذى استنتج من هذه الدراسات أن الحياة مُورست منذ حوالى ٣٠ مليون سنة، قبل أن تستقر حفريات بلبارا فى مكانها.

وقد جاء الدليل على الحياة من «إيسوا» عبر قياسات حذرة ودقيقة مع نظائر لها لمعرفة نسب الكربون. وذرة الكربون المعتادة تحتوى على ٦ بروتونـــات، و٦ نيترونات، وعلى ذلك فهى تصنف كربون ١٢، ^{12}C، بينما بعض الذرات تحتـوى على ٧ نيترونات بدلاً من ستة ولذا يتم تصنيفها: كربون ١٣، ^{13}C، ومن الناحيــة الكيميائية هما متطابقان ويعرفان حاليًا على أنهما نظيران. هــذا وتفــصل الحيــاة كربون ١٢ لأنه خفيف قليلاً وتفاعله أسرع، وكنتيجة لذلك فإن الحياة تميل لعــزل الكربون الأخف، وبذلك تثرى أى ترسبات قد تندفن فيها. أمــا الكربــون ١٢ فــى صخور بلبارا فقد كان أعلى بنسبة ٣٪ درجة، وفى إيسوا فقد كان أعلــى بدرجــة واحدة.

قاد مؤخرًا جوستاف أرهينيوس **Gustaf Arrhenius** من معهــد ســكربس للأوقيانوغرافيــا فــى كاليفورنيــا **the Scripps institute oceanography in California** فريقًا مزودًا بتقنية عالية لدراسة النظائر الكربونية والنسب بينها فــى صخور إيسوا. وبتوظيف الميزة المعروفة والخاصة بمجس متناهى الصغر **micro** قادر على قياس الطيف، استطاع الباحثون تحليل كميات ضعيفة للغاية من الكربون فى حبيبات صغيرة إلى درجة ١٠ مايكرومترات من بين وزن ٢٠ تريليونــا مــن الجرام، وادّعوا بعثورهم على «توقيع» بما يعنى أثرًا أو طبيعة للحياة. وكان قد تم جمع الصخور من جزيرة أكيليا ***Akilia***، القريبة من إيسوا وتم نسبتها إلى، علــى الأقل، تاريخ يرجع إلى ٣,٨٥ بليون سنة سابقة[٨]. وهذا التاريخ يمكــن مقارنتــه بعمر الأرض، ٤,٥٥ بليون سنة، والتى تحددت عبر قياسات النــشاط الإشــعاعى. فإذا ما كانت الحياة قائمة منذ ٣,٨٥ بليون سنة فإن هذا يعنــى أن كوكبنــا ظــل مسكونًا طوال ٨٥٪ من تاريخه.

وربما توصف بحوث الأحافير المسجلة على أنها اقتراب يمثل أعلى ما هو سفلى **top-down** بالنسبة للبحث البيوجيني. وبدءًا بما هو معروف عن الحياة اليوم، فنحن نحاول تتبع الطريق الذى اتبعه التطور بالعودة إلى ماضى الزمان، وهبوطًا فى الحجم بالنسبة لأبسط الكائنات العضوية والآثار الأسبق زمنيًا، إلا أن التسجيلات تتلاشى فى ضباب الغموض. وفى وقت أسبق من ٣,٥ بليون سنة وقد يصل إلى ٣,٨ بليون سنة، قام أول كائن عضوى بسكنى كوكبنا فى مكان ما منه. ولكن أين؟ وماذا كان شكله؟ سوف أبرز هذه الأسئلة عندما أعود لطريق قمة ما هو سفلى فى الفصل السادس ولكن الآن أريد أن أعرج على البديل: الاقتراب لقمة ما هو علوى. والفكرة هنا هى أن نسأل ما الذى نعرفه من أحوال الأرض الشابة ومشارطاتها، وبعدها نحاول أن نبنى الوقائع الفيزيائية والكيماوية التى ضغطت الزناد وأشعلت بدء الحياة منذ هذه السنوات التى مضت.

تلقائية أو عفوية التكاثر:

من المعروف أن العلم يرفض المعجزات، حتى ولو كانت قد وقعت بالفعل. وبالرغم من حقيقة أن الأحياء الجينى يبدو للبعض نوعًا من الإعجاز الفعلى، فإن نقطة البدء فى أى بحث علمى يجب أن تكون افتراض أن الحياة بزغت على نحو طبيعى، من خلال تتابع من عمليات فيزيائية عديدة. وعلى الرغم مما يبدو أقرب لعدم عثورنا مطلقًا على ما يفيد ما الذى وقع بالضبط، فربما نستطيع الاستدلال على طريق كيميائى ظاهر التصديق أو الوثوق به يؤدى بنا من العمليات الكيميائية البسيطة إلى الحياة. بالطبع ربما هناك طرق عديدة مختلفة للحياة كما نعرفها، وعدّة أشكال بديلة لها. ومن المفهوم أن العلماء سيكونون قادرين يومًا ما على إنشاء حياة من نوع ما فى المعامل، هذا يؤكد اقتناعنا بعدم الحاجة إلى معجزات.

ومع ذلك نظرًا لافتقارنا للمعلومات وجهلنا بها حاليًا فإن كل ما نأمله، هـو قليل من العلاقات أو الإشارات لمفتاح الخطوات الكيميائية التى قد تكون على صلة بالأمر. وبعض الناس يرون أن مجرد الإشارات أو العلامـات تعتبـر غيـر ذات جدوى، وأن الموضوع يعد أكثر عمقًا ومشهدية ليستحق حث المضى فيـه. وهـذه نظرة أعتبرها ضيقة وقصيرة. ربما ظل البحث فى أصل الحياة مفتقـدًا معلومـات ذات قيمة، حتى فى غياب تقدير تفصيلى لكيف بدأت الحياة بالفعل. وبصفة خاصة فربما نكون قادرين على إجابة السؤال عن كيف يشبه أو لا يشبه أن تكون الحيـاة تلقائية أو عفوية. وإذا ما أصبح ذلك أكثر احتمالية، فإننا نستطيع القول بأن تكـون الحياة قد ظهرت فى مكان آخر من الكون أيضًا. وعلى الناحية الأخرى فـإذا مـا كانت الخطوات الكيميائية قد أصبحت غير محتملة الحدوث بدرجة عالية، فسنكون وحدنا فى هذا الكون.

وأيًا ما كانت حقيقة العمليات المتتابعة الكيميائية فلا بد أن الحيـاة تـشكلت كنتيجة لنوع ما من التركيب التشابهى الذاتى للجزيئات. ومصطلح التركيب الـذاتى هذا **self-assembly** يبدو أنه ينضوى بدوره على حلقة سحرية، ولكنهـا ملحوظـة مألوفة لدرجة الابتذال. ذلك أن المجرات والبللورات تظهر أو تبرز للوجـود مـن خلال التجميع أو التركيب الذاتى، وهذا على سبيل المثال وليس الحـصر، وأعنـى أنهما ينشئان نفسهما من حالة سابقة مبدئية تتسم باللا نظام وافتقاد السمات. ولـيس ثمة قوى حاسمة تدير أو تقود محتوياتها إلى الشكل النهائى. وإنما فقط تقوم بـذلك عمليات الفيزياء العادية. ولذلك يفترض البيولوجيون أنه يمكن تطبيـق ذلـك فـى مجال الحياة حتى ولو كانت أبسط أشكال الحياة، هى بذاتها فى غاية التعقيد.

ومعتقد التكاثر التلقائى هذا، له تاريخ طويل يرجع على الأقـل إلـى أفلاطـون **Plato**. وفى القرن السابع عشر ساد الاعتقاد بأن كثيرًا من أنواع الكائنات الحية يمكـن أن تتكاثر من جديد فى ظل الظروف الملائمة، وعلى سـبيل المثـال كـان يعتقـد أن الفئران الناضجة يمكن أن تنشأ من كومة من الملابس الداخلية المتـسخة أو القمـح[٩].

كما أن هناك وصفات أخرى مفضلة مثل الشرابات القديمة واللحــوم المتعفنــة والتــى تظهر فيها، وبشكل وافر، أنواع من «القمل والهوام» وأيضًا اليرقات.

واليوم تبدو هذه القصص على درجة من السخف، ولكنها استدعت أن يقــوم عالم فى مقام لويس باستير **Louis Pasteur** بحسم الأمر. ففى عام ١٨٦٢، وفــى مناسبة الاحتفال بجائزة عامة أقام باستير عدة تجارب حذره ليستدل منها علــى أن الكائنات العضوية لا تأتى إلا عبر كائنات عضوية أسبق. أما الكائن العقــيم غيــر المثمر، هكذا ادعى، فسيظل أبدًا كذلك. وأضاف مفتخرًا[١٠] «لن يشفى أبدًا معتقــد التكاثر التلقائى أو العفوى من الضربة القاضية التى وجهتهــا لـــه هــذه التجربـــة البسيطة!».

ومع أهمية هذا الاستعراض للأمر، فإن النتيجة التى توصل إليهــا باســتير وقعت فى تناقض مع نظرية دارون عن التطور. مُجَلَّده الأشــهر وذائــع الــصيت «أصل الأنواع» "**The Origin of Species**"، والذى نشر قبل ثلاث ســنوات مــن إجراء باستير لتجاربه، ذهب دارون إلى رفض التصديق بالحاجة إلى معجزة لخلق أو إنشاء الأنواع، من خلال إظهار كيف يتحول النوع إلــى نــوع آخــر. ولكــن تقديرات دارون تركت الباب مفتوحًا لمشكلة كيف بدأت الحياة فــى المقــام الأول. ومن دون وجود الحياة بشكل دائم، فعلى الأقل هناك نوع واحد والذى كان فى البدء فهو إذن لم يجئ من تحوله من نوع أسبق، وإنما فقط بالتحول من مادة غيــر ذات حياة. وقد كتب[١١] دارون بنفسه بعد عدة سنوات «لم ألتق بأى دليــل يــستحق أن يصادق على الفكرة المسماة: التكاثر التلقائى». وبعدئذٍ فإنه فى غياب الــدليل فــإن أصل الحياة يكمن فى نوع من التكاثر التلقائى. ومع ذلك، فإن نظرية دارون فــى التطور، وأيضًا نظرية باستير القائلة بأن الحياة تولد من شيء حى بدوره، كلتيهمــا لا يمكن وصفهما بأنهما قد كُتبتا بشكل جيد.

دارون نفسه كان إلى حد ما يضع مسألة أصل الحياة هذه فى درجة متساوية مع بحثه فى التطور (انظر الاقتباس فى مستهل هذا الفصل)، ولكنه أعطانا بــذرة

هذه الفكرة فيما كتبه عبر رسالة شهيرة تخيل فيها(١٢) بركة صغيرة دافئة تحتوى على كل أنواع الأمونيا **ammonia**، والأمــلاح الفوســفورية **phosphoric salts**، والضوء، والحرارة، والكهرباء... إلخ، وربط بين هذه البركة وعملية التخمير التى تكون قد وقعت، وعبر فترات هائلة من الزمن، فربما تكون الحياة قد تشكلت مــن عمليات كيميائية معقدة. ونتيجة هذه المناظرات تأجل التفكير فى هذا المنحى مــن الموضوع لقرن تالٍ من الزمان.

فى ذلك الوقت تعرضت فكرة بزوغ الحياة تلقائيًا من خليط كيميــائى غيــر حى لنقد عنيف من قبل الثيولوجيين، وحتى من قِبَل بــعض الفيزيائييــن، حتى إن الإنجليــزى البارز لــورد كيلفن **Lord Kelvin** استبعد الفكرة كلها(١٣). «باعتبارها تأملاً قديمًا» وعبر عن رأيه: «أن العلم قد قدم لنا كمية هائلة من الأدلة الاستدلالية، والتى تقف ضد هذه القضية». ومعلنًا رأيه – من دون أى لــبس أو محتــوى لــه معنيان – «بأن المادة غير الحية لا يمكن أن تصبح حية، دون الخضوع لتأثير مادة حية أسبق منها». وهذا لا يدع لنا سوى خيارين، إما أن الحياة كانت دائمة الوجود، وإما أن ظهورها كانت وراءه معجزة.

ولم يتغير الأمر إلا قليلاً، حتى جاءت العشرينيات من القرن الماضى ومــن خلال أعمال ألكسندر أوبارين **Alexander Oparin** فى روسيا، و ج.ب.س هالدين "**J.B.S. Haldane**" فى إنجلترا، إذ استطاع كلاهما أن يميزا أن مــن الــسذاجة أن نقترح نشوء الحياة فجأة عبر عملية واحدة ومنفردة كرد فعل مدهش لها. ولقد أخذا مفتاح الفكرة من داروين، بافتراضهما أن الأمر قد استغرق فتــرة تطــور طويلــة اقتضت تتابعًا لعمليات كيميائية متدرجة أدت لظهور أول ميكــروب وأثنــاء هــذه المرحلة القبل بيولوجية، فإن شيئًا تحديدًا قد حول بنجاح خليط من الجزيئات إلــى تركيب أكثر فأكثر تعقيدًا كرد فعل، حتى حدث فى النهاية نشوء السمات الأساســية لكائن عضوى حى.

وفضلاً عن «بركة» دارون الصغيرة، فقد تصور هالـدين كـل محيطـات الأرض كإطار للأحداث، حيث تقوم الأمطار بتبليل المـسطحات القاحلـة، والتـى بالتالى تغسل كل ما هو كيميائى الأسلوب دافعة به إلى البحر، ليتركز هناك حتـى إننى سأستخدم العبارة التى صرح بها هالدين: «أن يصل السائل إلى حالة (شوربة) مخففة بالماء ومتماسكة». وقد أمسك الآخرون عليه هذه العبـارة وصـكوها فـى عبارة «الشوربة الأصلية أو الابتدائية» "**the primordial soup**" منذ ذلك الحين.

وتعددت التنوعات عبر السنين التى ناقشت ماذا وأين كانت هذه «الشوربة». هل كان المحيط هو المَعْنِى، أو مجرد بركة كما اعتقد دارون؟ هـل كـان كهفًـا مستترًا أو كان نفقًا تحت سطح الأرض؟ وماذا عن نبع ماء حار لدرجة الغليـان أو فتحة بركان تحت قاع البحر؟ أو قطرات صغيرة من الماء احتجزها الهواء وتركها معلقة؟ ربما أيضًا لم تكن «الشوربة» فى أى موقع على الأرض إطلاقًا، وتولـدت داخل مذنب أو كوكب صغير. كل هذه الأفكار تم اقتراحها بجديـة وظـل أغلبهـا كوسيلة ربط محضة. ورغم أن هذه الآراء تختلف كلية عن بعضها البعض، فإنهـا تتشارك فى أمر واحد، فهى جميعًا تتطلب سائلاً مائيًا ومزينًا بجواهر ملائمة فعلية، وانكشف أو تعرض لمصدر طاقة، ليقود ردود الفعل أو التفاعلات الكيميائية إلـى الأمام.

وكان لهالدين وأوبارين رأى مختلف عن التتابع الحقيقى للأحداث، ويطـوق عملية الانقسام فى الموضوع، والذى ظل باقيًا حتى اليوم. وحيـث يتعلـق الأمـر بمدى المعلوماتية لدى الخلايا. كل الكائنات العضوية المتناهيـة الـصغر تكـون منفصلة عما يحيطها بغشاء (حيوانى أو نباتى) أشبه بالحـائط الحـافظ للخليـة، إذ سيكون بالطبع من الصعب تخيل حياة من دون أسوار محيطة من نوع ما. والسؤال هو أين برز هذا البناء الخلوى: قبل أو أثناء أو بعد الخطوات الكيميائية المبدئية؟

بينما ركز هالدين الضوء على كيميائية «الشوربة"، كان أوبـارين أول مـن نادى بالخلية. وكان متأثرًا أو لديه انطباع بأن العناصر الزيتية لا تخـتلط بالمـاء،

وأحيانًا ما ينتج عن الخليط نوع من المادة العالقة تعرف بشكلها المكافئ للشكل العنقودى **coacervate**، وحيث يطفو الزيت متجمعًا فى قطرات رفيعة وصغيرة. هذه «الفقاقيع» الزيتية تشبه من حيث مظهرها الخارجى الخلايا البيولوجية. لقد افترضت نظرية أوبارين أن البناء الفيزيائى للخلايا لا بد أنه جاء أولاً، وزُوِّد بوعاء خاوٍ، تستطيع فيه الجزيئات أن تستمر فى أعاجيبها. وهذه الفكرة لها قدر من الجاذبية لأن هناك كثيرًا من العمليات الفيزيائية (ليس فقط الزيت فى الماء)، والتى تنتج عنها حويصلات أو بثرات من نوع ما. وأيضًا فالخلايا السائلة أو النقاط أو القطرات يمكن أن تصبح غير مستقرة وتنشطر إلى اثنتين، منتجة شكلاً بدائيًا من إعادة الإنتاج. ولو أن حقيبة مملوءة بالعناصر الكيميائية تضخمت، ثم انشطرت إلى أجزاء، فإن كل «ابنة» للحقيبة الأصلية سوف ترث الخليط الكيماوى لتلك الحقيبة. وقد يكون هذا كافيًا لعمل نوع بدائى من الاختيار الطبيعى. ومهما كان الغشاء الحيوانى أو النباتى، فإنه يحتاج لأن يكون لديه بعض من الخصائص المميزة قبل أن تحبس الجزيئات المؤازرة للحياة داخل الخلية، ولكن تسمح بأن تمر إليها المواد الأولية التى تحتاج إليها من خارج الخلية.

إن فكرة أوبارين بشأن تأصيل أو تجذر أصل الحياة فى تشكل الخلايا، تعكس جزئيًا حالة المعرفة فى تلك الأيام، لأن العلماء فى ذلك الوقت كانوا لا يزالون يناضلون فى حل مسألة عمليات الأيض، والدور الذى يلعبه البروتين فى الخلية، بينما لم تكن لديهم أى فكرة ولو ضبابية عن طبيعة الجينات، حيث لم تكن معرفة البيولوجيا الجزيئية وتركيب الدنا قد قامت وقتئذ. ربما من الطبيعى أن يؤكد أوبارين الوجه الجينى للحياة، وأن يتوجه اهتمامه للهيئة الفيزيائية التى عليها الخلايا – تشكلها وبناؤها – والتى كانت مفهومة له على نحو أفضل. وهذا لا يجعل النظرية الأولى للخلية خاطئة، ولكنه فقط ينذرنا بأننا عندما نضع ما نعرفه فى مركز الاهتمام دون سائر المعلومات الواجب البحث عنها، فإن ذلك يشبه مخاطرة وضع العربة أمام الحصان.

وقد أصبح التنظير فى مجال أصل الحياة يحتل المشهد كله فى عشرينيات القرن الماضى، حيث أعطى البعض الأهمية الواجبة لأفكار كل من أوبارين وهالدين. وحيث قام أحد الكيميائيين الأمريكان هارولد أوراى «Harold Urey» والذى كان مقدرًا له الحصول على جائزة نوبل فى أحد الأيام لاكتشافه الهيدروجين الثقيل «deuterium"، حيث لاحظ أنه قد يكون ممكنًا اختبار النظرية القائلة بـ «الشوربة المبدئية» فى المعمل. وبعدها بعدة سنوات. وبالتحديد فى عام ١٩٥٣ قام بهذه التجربة الاختبارية بالفعل.

إعادة إنشاء «الشوربة» البدائية أو الأصلية:

كانت تجربة أوراى المحْتَفَى بها خلاّبة من حيث بساطة مفهومها. لقد فكر فى توفير الظروف التى تَصَوَّر أنها كانت سائدة فى كوكب الأرض البدائى، ومراقبة ما سوف يحدث. لقد كان عليه أن يخمن ما كانت عليه الأرض منذ بلايين السنين. معتبرًا أن وجود الماء السائل هو بمثابة رهان عادل، ولكن تركيبة الجو لم تكن معلومة له. ولتقرير أى من الغازات الواجب استخدامها، اقترح أوراى بأن جو الأرض حاليًا لا بد أنه تعرض للتحسن الهائل بفعل الحياة وبسببها، وبصفة خاصة فإن احتواء الجو الأكسوجين، يرجع لعملية التمثيل الضوئى فى النبات. وهكذا استبعد الأكسوجين. وبالفعل كان هذا اختيارًا عاقلاً. ومع أن الناس جعلت للأكسوجين دورًا مساهمًا فى الحياة، فهو فعليًا عنصر خطر يدفع الحياة للتآكل بمعنى أنه يَحتّ فيها، وبالتالى يمثل تهديدًا لمعظم الجزيئات العضوية وقادر على تحطيمها بسرعة (ولا بد أن يعرف ذلك أى مُشعل لحريق). إذا ما كان طور الحياة قبل العضوية، كان كما تصوره كل من هالدين وأوبارين فلا بد أن الأجواء كانت خالية من الأكسوجين الحر. وبناء على كل ذلك قرر أوراى أن يستخدم خلطة من الميثان **"methane"** (غاز المستنقعات والمناجم) والهيدروجين **"hydrogen"** والأمونيا **ammonia**.

ولمساعدته فى التجربة وَظّف أوراى طالبًا شاباذكيا يدعى ستانلى ميللر Stanley Miller كان يتلقى العلم فى جامعة شيكاجو. وقد بدأ عمله بأن ملأ قارورة بالغازات المختارة، بالإضافة لقليل من الماء وأحكم إغلاقها ومرر فيها شرارة كهربائية لتشبه تأثيرات الضوء على العملية، وخلال الأسبوع الذى تلى ذلك عَمَدَ إلى مراقبة الأمر، واندهش لملاحظته أن دورة الماء داخل القارورة تحولت تدريجيًا إلى اللون البنى – المشوب بالأحمر "**reddish brown**". وكان ميللر فخورًا مبتهجًا حين صرح: «فيما يبدو أن هذه التجربة البسيطة قد نجحت فى إنتاج ما يشبه الشوربة البدائية». وعكف على تحليل السائل وبالتأكيد وجد أنه يحتوى على عدد من العضويّات الكيماوية المعروفة بالحامض الأمينى **amino acid**. وهو ما يمثل أحجار بناء البروتين، ويعتبر من العناصر التى لها قيمة فيما يتعلق بكل الحياة الأرضية.

أُستقبلت نتائج ميللر بحرارة بالغة باعتبارها الخطوات الأولى على طريق إنشاء الحياة فى «قارورة اختبار»، ولقد كان معقولاً أن ينتج الحامض الأمينى فى أسبوع، ولك أن تتخيل ما يمكن أن يحدث لو أن التجربة استغرقت وقتًا أطول. ربما ببساطة تكون مسألة وقت قبل أن يبدأ كائن حى فى الزحف من وسط هذا الحساء ذى اللون البنى المائل للإحمرار. والخلاصة التى انتهى إليها كثير من العلماء هى أن إنشاء الحياة لا يحتاج إلا قليلاً من الكيماويات العادية، فضلاً عن مصدر للطاقة.

وأخيرًا، فإن النشاط الذى أحاط بتجربة ميللر/ أوراى استحال إلى اعتبارها تجربة مبتسرة، وذلك لعدة أسباب متنوعة. ففى رأى الجيولوجيين أن الجو وقت البداية لا يماثل المزيج الذى لجأت إليه التجربة فى قارورة ميللر. إذ من المحتمل أن الأرض اختلف جوها عدة مرات خلال البليون سنة الأولى من عمرها، وليس مُتصورًا أن الميثان والأمونيا قد تَوفرا كثيرًا فى هذه الأثناء. ولو أن الأرض حازت فى جوها «هيدروجين» بشكل حقيقى، فهو لم يدم طويلاً، وباعتباره من

أخف العناصر، فكان لا بد له أن يتطاير فى الفضاء، ولقد اختار أوراى هذه العناصر لأنها جميعًا تحتوى على الهيدروجين. والكيميائيون يسمون هذه الغازات مختزلة **reducing**، أو تعمل على مبدأ «الإنقاص» وهو المضاد «للأكسدة» **oxidation**، ولأن كل العضويات غنية بالهيدروجين، فإن جوًا متحولاً فى اتجاه الإنقاص يكون لازمًا لإنتاجها. ومع أن التخمين السائد للجو الباكر للأرض هو أنه ليس مختزلاً ولا مؤكسدًا أيضًا، بل إنه كان خليطًا طبيعيًا من ثانى أكسيد الكربون **carbon dioxide** والنيتروجين. وهذه الغازات لا تُمنح أو تُعطى الحامض الأمينى بسهولة أو بسرعة.

والسبب الثانى فى إلقاء نوع من الشك حول معنى تجربة ميللر/ أوراى يتمثل فى أن الحامض الأمينى فى الحقيقة، ليس من الصعب إنتاجه أو صنعه. وثمة تجارب متنوعة ناجحة تم القيام بها حيث استبدلت الشرارة بأتون متأجج، أو مصباح أشعة فوق البنفسجية، أو غازات صادمة أو خليط كيماوى مشحون بالطاقة. وعليه فقد أصبح صنع الحامض الأمينى من الأمور العادية وهو فى الواقع يحدث طبيعيًا فى الشهب وحتى فى الفضاء الخارجى.

هناك أيضًا سبب مبدئى حول لماذا لم تعد تجربة ميللر / أوراى تستحق ما كان لها يومًا ما؟ حيث من الخطأ الحقيقى أن ننظر للطريق إلى الحياة وكأنه يأخذ هيئة الطريق السريع **highway**، بحيث يؤدى بمرور الزمن مباشرة إلى «حساء كيماوى». ربما تكون الأحماض الأمينية بمثابة أحجار البناء للبروتين ولكن ثمة عالمًا كاملاً من الفروق بين أحجار البناء وبناء مُركَّب. لأن مجرد اكتشاف كومة من الأحجار لا يضمن أن هناك مبنى خلف الناصية، وعليه فإن مجموعة من الأحماض الأمينية أمامها طريق طويل جدًا، بعيدًا عن الجزيئات الكبيرة والمتخصصة مثل البروتينات التى تتطلبها الحياة.

وثمة عائقان كبيران يقفان فى طريق التقدم إلى الحياة فى «حساء بدائى». واحد منها أنه فى معظم السيناريوهات يبدو الحساء مخففًا لدرجة كبيرة لا يتسنى له

معها أن ينتج لنا الكثير. محيط هالدين الواسع من الحساء سيكون مخففًا للغاية، بحيث لن يتسنى له جمع المكونات الصحيحة فى نفس المكان وفى وقت واحد ومن دون بعض الآلية لتركيز شديد فى الكيمائيات، فإن تخليق للجوهريات المعقدة يصبح من قبيل الآمال البعيدة، وثمة مقترحات تنسب للخيال قُدّمت فى مجال تكثيف أو زيادة ثخانة السائل المخمر، فمثلاً بركة داروين ربما تتبخر وتتصاعد أبخرتها إلى الفضاء، تاركة نفاية أو زَبدًا ذا كثافة كافية. أو ربما تستطيع السطوح المعدنية مثل «الطين» أو «الصلصال» أو «الوحل» أن تحصر الكيماويات المارة عليها فى شكل سائل متوسط الكثافة وتقوم هذه السطوح بتركيزها. ومع ذلك، فإنه ليس واضحًا تمامًا إذا ما كان أى من هذه الاقتراحات يمثل الواقع إزاء الحياة الفعلية على الأرض فى بواكيرها. كما أننا لم نصادف حالة أشبه بالمرقة أو الحساء احتفظت بها الصخور لتكون هاديًا لنا فى طريقنا الوعرة.

أما العائق الثانى فهو أكثر عمقًا ويعود بنا إلى القانون الثانى للديناميكا الحرارية. ولتستعد فى ذهنك كيف يصف هذا القانون الميل الطبيعى للفناء أو التلاشى التدريجى، وللفساد، والابتعاد عن نشر النظام والتعقيد وثم: فإن تركيب أو اصطناع جزيئات بيولوجية «تسبح ضد التيار»، من زاوية الحديث بمفهوم الديناميكا الحرارية، ولأول وهلة يبدو أن هذا يؤدى إلى تناقض. والحقيقة أنه لا صراع أو تضاد مع القانون الثانى ذاك. وكما شرحت فى الفصل الثانى، فإن النظام قد يظهر فى مكان، مادامت توجد كميات أكبر من اللا نظام، أو الأنطروبيا فى البيئة المحيطة. وهذا هو ما يحدث عندما تتشكل بللورة أو كريستالة خلال السائل المذاب، لأن الكريستال الصلب هو ترتيب نظامى للذرات على غير الحال فى ذات السائل، وعلى ذلك فهو (الكريستال) لديه أنطروبيا أقل. ومع ذلك، فإن تشكل الكريستال يصاحبه تحرير للحرارة التى تنبعث فى البيئة وهو ما يؤدى إلى مزيد من الأنطروبيا. وهكذا فإن الحقيقة الثانية تفوق الأولى وزنًا وقيمة. وهذا ما يحدث بالنسبة لتركيب الحامض الأمينى، فإن تركيبه مفضل فى مفهوم الديناميكا

الحرارية. والسبب فى ذلك يتعلق بقاعدة الطاقة. إذا تسببت عملية ما فى تخفيض الطاقة فى نظام معين، أى لو ذهبت إلى «أسفل التل» ستكون محل مباركة القانون الثانى، أما بالقياس لو صعدت إلى «أعلى التل»، ففى هذه الحالة تكون متحدية للقانون الثانى. المياه تجرى إلى أسفل التل، ولا تصعد إلى قمته. وقد يمكنك أن تجعل المياه تصعد إلى القمة، ولكنه فقط ببذل الجهد من أجل ذلك. وأى عملية تجرى بطريقة تلقائية تكون دائمًا بمثابة الهابطة إلى «أسفل التل». وإنتاج الحامض الأمينى له سمة «الهبوط لأسفل التل»، وهذا ما يجعل من السهل جدًا صنعه.

الآن قد وضعنا يدنا على عقبة خفية: الخطوة الثانية فى الطريق للحياة أو على الأقل الطريق إلى البروتين، هى قيام الحامض الأمينى بالارتباط مع نظائره لصنع جزىء يعرف باسم الـ «ببتايد» **peptide** والبروتين ليس إلا سلسلة طويلة من البيبتايدات أو متعدد البيبتايد **polypeptide**. وحيث إن التشكل التلقائى للحامض الأمينى من خليط كيماوى غير عضوى هو عملية مسموح بها من زاوية الهبوط «أسفل التل»، أما مضاعفة الحامض الأمينى لتشكيل بيبتايد هى من قبيل عمليات الصعود «لأعلى التل» أى أنها من وجهة نظر الديناميكا الحرارية تتجه إلى الطريق الخطأ. وكل بيبتايد مرتبط بوثاق يتمثل فى احتياجه لجزىء مياه، لكى ينتزع من السلسلة. وفى وسط مائى مثل الحساء أو الشوربة البدائية. فإن هذا لا تفضله قواعد الديناميكا الحرارية. ويترتب على ذلك أن الأمر لن يحدث بصفة عفوية ولا بد لجهد أن يبذل لإكراه جزىء المياه (المستخلص) عبر الوسط المائى المستقر، ومن الواضح أن تشكل البيبتايد، ليس مستحيلاً، لأنه يحدث داخل الكائن العضوى. ولكن هناك رد فعل «أعلى التل» المدفوع إلى أمام باستخدام جزيئات مصنعة حسب الحاجة دون أن يتم شحنها بالطاقة اللازمة للعمل الضرورى. وفى «حساء» كيميائى بسيط، ليست ثمة جزيئات متخصصة فى متناول اليد، لتدعم ردود الفعل دعمًا هى محتاجة إليه. وبالتالى، فإن الحساء المائى يعتبر وصفة لعدم تركيب الجزيئات وليس التركيب الذاتى لها[١٤].

ولنتأكد أنه سيكون هناك نقص فى مصادر الطاقة المتاحة على الأرض فـــى بواكيرها، وهى الطاقة المتطلبة لإجبار سلاسل الببيتايد على التشكل، ولكـــن إلقـــاء تبعه المشكلة على الطاقة ليس حلاً. فنفس مصادر الطاقة التى ســتحث الجزيئـــات العضوية، هى أيضًا التى ستخدم فى تحطيمها وإهلاكها. ولكى تعمل بشكل متعاقب ومترابط منطقيًا، فإن الطاقة المستهدفة يجـــب أن تكـــون علـــى قـــدر رد الفعـــل المطلوب. وعند إدخال طاقة غير متحكم فيها، مثل طاقة التسخين البـــسيط، فيبـــدو أنها ستميل للتحطيم والإهلاك أكثر من اتجاهها للتعاقب والترابط المنطقى. وهـــذه الحالة يمكن مقارنتها بعامل بناء مجتهد، باذلاً أقصى جهده فى بناء عمود أو نصب تذكارى، واضعًا كل طوبة فوق سابقتها. وكلما ارتفع العمود عاليًا كـــان معرضـــا لحالة من التمايل ومن ثم الانهيار. ومثل هذا بالضبط، فإن السلاسل الطويلـــة مـــن الحامض الأمينى، المرتبطة ببعضها تكون هشة وقابلة للفصل. وكقاعدة عامـــة إذا قمت بتسخين أو زيادة الحرارة لكائن عضوى فإنك شـــئت أم أبيـــت **willy-nilly**، فسوف ينتهى بك الأمر ليس بسلسلة طويلة ولطيفة من الجزيئات، ولكن بكومة من الجزيئات ملخبطة متلكئة ومتوانية كما يشهد لك صاحب حفلة الشواء!

ومن الصحيح أن القانون الثانى للديناميكا الحرارية ليس إلا قانونًا إحصائيًا، لا يمنع الأنظمة الفيزيائية من الذهاب للاتجاه الخطأ (مثل الصعود لقمة التل)، لكنه يرجح الذهاب فى الاتجاه الصحيح. وعلى سبيل المثال فإنه من الممكن، بـــل هـــو قريب من الحدوث، أن تبنى عمودًا من الطوب، بأن تجعل له طرفًا مـــستدقًا، مـــن الطوب، أيضًا بأن تنتقى مجموعة من الطوب لعمل هذه القمة المستدقة، ولا تندهش إذا انتهت بطوبتين مستقرتين بشكل جيد على واحدة، ولو ثلاث طوبـــات، ســـيكون أمرًا مشهودًا، ولكن لو عشر طوبات فسيكون الأمر أقرب للمعجـــزة. وبـــلا شـــك ستضطر للانتظار وقتًا طويلاً، لكى يتحقق صف من الطوبات العشر بشكل عفوى. أما فى حالة رد الفعل الكيماوى العادى الذى يقـــع بـــالقرب مـــن حالـــة الاتـــزان الحرارى، فإن الجزيئات تهتز بشكل عشوائى، وهكذا ستكون مـــضطرًا للانتظـــار

وقتًا طويلاً، لكى يتم تشكل سلسلة هشة من الجزيئات. وكلما طالت السلسلة، طالت مدة الانتظار. وقد تم تقدير المسألة بأنه بعيدًا عن المزايا الذاتية له، فإن حلاً مركزًا من الحامض الأمينى سوف يحتاج قدرًا من السائل بحجم الكون المنظور حولنا، لكى يمكنه أن يذهب فى اتجاه مضاد للمد الحرارى. وينشئ قدرًا ضئيلاً من متعدد البيبتيدات بشكل عشوائى. ومن الواضح إذن أن الجزيئات العشوائية المراوغة ستكون ذات نفع ضئيل، عندما يشير سهم الاتجاه إلى الطريق الخطأ.

وثمة مهرب وحيد ممكن من الطريق الضيق المتعلق بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية، وهو يتمثل فى مغادرة حالة الاتزان ومشارطاتها الخاصة به. وكان البيوكيميائى الأمريكى سيدنى فوكس "**Sidney Fox**" قد قام ببحث ما الذى يحدث، حين يتم تسخين خليط من الحامض الأمينى بشدة، وبدفع الماء بعيدًا كبخار، فإن الوصلات بين الحامض الأمينى المكونة لسلاسل البيبتيدات سوف تصبح أكثر تشابهًا. والطاقة الحرارية المتدفقة سوف ترفع الأنطروبيا الضرورية للانصياع للقانون الثانى. وبهذا الشكل أنتج فوكس بعض السلاسل الطويلة من متعدد البيبتيدات، والتى اصطلح على تسميتها بروتينويد (أشباه البروتينات) **proteinoids**، ولسوء الحظ، فإن التشابه بين بروتينويدات فوكس والبروتين الحقيقى سيكون مخادعًا، لأن البروتين الحقيقى يتكون بصفة خاصة من الحامض الأمينى المتعلق باليسار (راجع الصفحات الأولى من هذا الفصل)، بينما أشباه البروتين المنتج بمعرفة فوكس، فتتكون من خليط متعادل من الحامض الأمينى المتعلق باليسار واليمين معًا.

وهناك أيضًا سبب أساسى، لكى يبدو التشابه العشوائى الذاتى للبروتين، وكأن ليس له شرارة بدء. وهذا ليس له علاقة بتشكل السلاسل الكيماوية على النحو السالف، ولكن بالنظام الخاص الذى يرتبط به الحامض الأمينى مع بعضه. فالبروتين لا يحتوى على أى سلاسل بيبتايدات قديمة، إنها تعاقبات خاصة جدًا من الحامض الأمينى، التى لها خواص كيميائية متخصصة، والتى تتطلبها الحياة. ومع

أن عدد البدائل المتاحة للتغيرات الأساسية فى خليط من الحامض الأمينى هو عـدد فلكى. فإن جزءًا صغيرًا من البروتين يحتوى على ١٠٠ حامض أمينى يوجـد ٢٠ نوعًا منه، نحن إذن أمام ١٠^١٣٠ (والذى يعنى واحدًا متبوعًا بـ ١٣٠ صفرًا) مـن الترتيبات المختلفة للحامض الأمينى فى جزىء بهذا الطول[١٥]. والاصطدام بواحد صحيح منها، بالمصادفة، لن يكون متاحًا[١٦] ولو تم، لكان من قبيل الأشياء الفذة.

إن العثور على هيئة أو شكل مناسب للحامض الأمينى من بين الاسكويليون **squillions**[*] من التشكيلات المتاحة، يمكن التفكير فيه كمعضلة فى حجم حيـوان الماموث (المنقرض والذى كان شبيهًا بالفيل) يماثله تعقب موقع فى الإنترنـت دون ماكينة بحث. وهذه الصعوبة يمكن التعبير عنها بمصطلحات الـديناميكا الحراريـة باسترجاع العلاقة بين المعلومات والأنطروبيا، والتى سبق شـرحها فـى الفـصل السابق: المحتوى المعلوماتى العالى المتخصص للبروتين والمُمَثَّـل فـى التتـابع الخاص جدًا للحامض الأمينى، يحتاج إلى تراجع كبير فى الأنطروبيا أثناء تـشكل الجزىء. ومرة أخرى، فإن مجرد الحقن غير المسيطر عليه أو متحكم فيه بالطاقة لن ينجز النتيجة المنظمة التى نحتاج إليها. وبالعودة للمشابهة التى أجريناها بحالـة بناء طبقات من الطوب، فإن صنع البروتين ببساطة بفتح طاقة تشبه تفجيرًا تُجريه تحت كومة من الطوب، متوقعًا أن ينتظم الناتج فى شكل بيت. ربما يمكن تحريـر طاقة تكفى لترفع الطوب، ولكن دون أن تقترن الطاقة مع الطوب بطريقة مـسيطر عليها ومنظمة، فلن يكون هناك سوى أمل ضعيف فـى إنتـاج أى شـىء سـوى اللخبطة العشوائية. وهكذا، فإن صنع البروتين برجرجة الحامض الأمينى عشوائيًا، سوف يؤدى بنا بتعبيرات الديناميكا الحرارية إلى مضاعفة المشاكل أو المتاعـب. ليس فقط هزهزة الجزىء للاتجاه «صعودًا لقمة التل»، بل تجب هزهزته فى اتجاه شكل شريحة متناهية الصغر من العدد الكلى للخلطات الممكنة.

(*) squillions اسكويليون هى مرادفة لكلمات شبيهة مثل زيليون وغيرها مما ينتهى بحروف (يون) فإنها جميعًا تستخدم للتعبير عن رقم لا نهائى، لا ترجى منه فائدة.

حتى الآن كنت أتكلم عن صنع البروتينات عن طريق وصلات الحامض الأميني في شكل بيبتايدات. ولكن البروتين هو جزء صغير من النسيج المعقد الصعب فهمه للحياة. هناك اللبيدات lipids(*) والحامض النووى nucleic acids والريبوسومات ribosomes(**)... إلخ. وهنا نكون قد أصبنا نقطة أخرى أو عقبة خفية. حيث من الممكن أن يستخدم العلماء تجارب معملية تتميز بالأناقة والتعقيد في إجراءاتها، متوصلين من خلالها إلى تركيب الجزء ذى الشأن فى عملية الحياة بشكل تدريجى، الجزء الذى به نستطيع أن نُقِّوم المسألة. لكن الأقل احتمالاً هو أن نفس مجموعة الإجراءات المُتَطلّبة لإيجاد كل الأجزاء التى نريدها فى الوقت نفسه. وهذا لا يعنى فقط، أن هناك سرًا حول التركيب أو التجميع الذاتى من بين قطع كبيرة العدد من الجزيئات ذات البناءات المتخصصة والرقيقة السمات، من بين قطع متناحرة صاخبة، فهناك أيضًا إنتاج، وبالتزامن، مجموعة من نوعيات كثيرة مختلفة من الجزيئات.

ودعنى ألفظها بوضوح: ما الذى يتعلق به الأمر هنا. لقد أكدت بالفعل أن الجزيئات المعقدة التى نجدها فى الكائن العضوى ليست حية بذاتها. الجزىء هو الجزىء، إنه ليس حيًا ولا ميتًا. الحياة ظاهرة يشترك فيها مجتمع كامل من الجزيئات المتخصصة، بل ملايين منها تتعاون معًا بطرق جديدة ومدهشة. ولا يحمل جزىء وحده شرارة الحياة، ولا يمكن لسلسلة من الذرات أن تنشئ كائنًا حيًا. حتى الدنا، هذا الجزىء العضوى الفائق، فهو ليس حيًا، انتزع الدنا من أى خلية وسوف تجدها غير قابلة للقيام بدورها المعتاد. فقط فى مجرى بيئة جزىء على

(*) وهى مجموعة من المركبات المتجانسة التى تتألف من حموض دسم طبيعى وشموع وستيروئيدات ولا يمكن حلها بالماء، وإنما فقط بالمحاليل غير المستقطبة، كما أنها مصدر للطاقة وسهلة الاختزان، وتقوم بوظائف عديدة فى البدن.

(**) أحد المستعصيات فى الخلية الحية، وتصنع خلاله البروتينات بحوالى ٥٢ سلسلة بروتينية وثلاثة جزيئات من الدنا الريبى، التى تستنسخ مباشرة من الدنا. (المترجم).

درجة عالية من التخصص سيستطيع الجزىء المعيّن أن يقوم بدوره فى الحياة، أى أنه لن يستطيع من دون هذه البيئة أو المحيط. ولكى تتم الوظيفة بشكل صحيح فلا بد للدنا أن تكون جزءًا من فريق كبير، الذى يقوم فيه كل جـزىء بإنجـاز دوره المحدد الهدف فى تعاون تام مع جزيئات الأجزاء الأخرى.

إن معرفة جدارة محتوى الجزيئات فى العضو الحـى بالاعتمـاد عليهـا والوثوق فيها تضعنا على الفور أمام متاهة فلسفية شديدة. إذا كان كل شىء يرغب فى كل شىء آخر، فكيف ظهر مجتمع الجزيئات فى المقام الأول؟ ولأن الجزيئات فى معظمها، والتى تحتاجها الحياة ولا تقوم من دونها، يتم إنتاجها بمعرفـة نظـام عضوى حى، ولا يوجد منها ما هو خارج الخلية فكيف جاءت للوجود أصلاً، دون معاونة من علماء متطفلين يتدخلون فيما لا يعنيهم؟ هل نتوقع بشكل جدى، حـساءً من النوع الذى اقترحته تجربة ميللر / أوراى لكى تصنعهم فورًا مع معرفتنا بـأن طبيعة الكيمياء تصيب مرة وتخطئ أخرى **"hit – and – miss"** ؟.

ربما اعتراك انطباع مما كتبته حتى الآن بأن أصل الحياة ليس فقـط غيـر ممكن أو مستحيلاً من الناحية الفعلية الواقعية، ولكن الحياة نفسها مستحيلة أيـضًا. ولو أن الجزيئات العضوية الهشة تعرضت للهجوم وتبعثرت بشكل مـستمر، فـإن أبداننا ستتجه بسرعة للتحلل عبر عمليات كيميائية تنشر التشوه والمـوت؟ ولكـن لحسن الحظ، فإن خلايانا تحتوى على إصلاح كيماوى مميز وآلية للبناء، ومصادر كيماوية جاهزة للطاقة، لكى تدفع بالعمليات لـــ «الـصعود» إلـى قمـة التـل"، وإنزيمات لها مميزات خاصة تتمكن بواسطتها من نعومة تركيب الجزيئات المعقدة من بين شرائحها. وأيضًا ينثنى البروتين فى شكل كرات للحماية تمنـع مهاجمـة الماء لرباطها الكيماوى الرقيق. وفى حدود السرعة التى يسحبنا بها القانون الثـانى إلى «أسفل التل» فإن هذا الجيش المتعاون من الجزيئات المتخصصة يـشدنا إلـى الاتجاه العكسى أى إلى «قمة التل». وما دمنا نظل نظمًا مفتوحة، نتبـادل الطاقـة والأنطروبيا مع بيئتنا، فإنه يمكننا تجنب النتائج المدمرة للقانون الثانى. ولكن يبقـى

«الحساء» البدائى مفتقدًا هذه «الكتائب الملائمة» من الكيماويات المتعاونة. ولـيس ثمة حزِمٌ من جزيئات الإصلاح جاهزة لتطبيق القـانون الثـانى. إذن علـى هـذا «الحساء» أن ينتصر فى المعركة وحده ضد العناصر الشاذة والتـى ليـست فقـط ثقيلة، وإنما أيضًا ضخمة ومُغَيِّبة العقل.

كيف إذن تكون الإجابة؟ هل الحياة بعد كل شيء معجزة؟، فى الفصل الرابع سوف أهتم بالمحاولات الأخيرة لشرح كيف لخليط كيماوى يمكنه بكفـاءة إنقـاص الشواذ المتراكمة، والتى تشكل عقبة ضد التركيب أو التـآلف العفـوى للجزيئـات المعقدة. ولكنى أرغب هنا فى تسجيل نقطة عامة. كانت أول الأشياء الحيـة ومـن دون شك، بعيدة فى بدائيتها عن الميكروبات المعروفة اليـوم. فأنـت لا تـستطيع النظر إلى باكتيريا باقية على قيد الحياة، بقنواتها الدقيقة ونظامها الأيضى المتميز، ثم تتوقع أن كل محتوياتها قد صنعت وجمعت عبر تشكلها الأولى من «الحـساء» البدائى. ميكروبات اليوم ظهرت فقط بالتدريج بعد فترة طويلـة مـن التـصويبات التطورية للخشونة التى كانت عليها فى حالتها الأولى. لقد كانت الحيـاة المبكـرة، مُوحِلة ومتسخة بيوكيماويًا، مما عليه الكائن العضوى اليوم.

وهذا يؤطر لنا مبدأً مهمًا وعامًا: الماكينات البدائية والفجة تكون أشد صلابة من الماكينات المتميزة والرفيعة. وكلما ازدادت رقة الماكينة، أصـبحت مكوناتهـا قابلة للعطب، وقَلَّت حصانتها. حاول أن تسكب زيتًا خامًا فى خزان سيارة سـباق دقيقة القنوات، ستجد أنه سرعان ما ستصدر عنها أصـوات اضـطراب، وبعـدها تتحول إلى أداة عديمة الكفاءة. قارن ذلك العمل نفسه مع جَرَّار، فستجد أنه يستطيع الاستمرار فى وظيفته برضًا تام. ويمكن بالحديث نفسه إذا أسقطت جزىء دنا فـى «الحساء» البدائى فسوف يصبح عاجزًا عن أن شيء ولكن سلفًا أقل تـصويبًا مـن الدنا ربما يكون صالحًا أكثر ويمكنه التكاثر بنجاح. ويبدو أن الحياة قد بدأت كعملية متداعية للسقوط، ثم صوبت وسارت فى خطها الذى نعرفه بمرور الزمن. وربمـا كان من غير الممكن تحطيمها. الشواذ من الميكروبات التى تضادّت مع التركيـب الذاتى، والتى لها خشونةِ وفجاجة الجرار.

المصادفة وأصل الحياة:

أسأل السؤال البسيط: وقد أُعطيت المشارطات التي كانت سائدة على الأرض منذ أربعة بلايين سنة مضت، هل كان محتملاً ما كان عليه من ظهور الحياة؟ الإجابة التالية لن تفيد: الحياة لم يكن منها بد، لأننا موجودون الآن. من الواضح أن الحياة بدأت – ووجودنا يؤيد هذا كثيرًا – ولكن هل كان عليها أن تبدأ أو تنشأ؟ وبكلمات أخرى: هل كان ظهور الحياة من خلال «حساء» كيماوى أمرًا محتومًا ولا يمكن تجنبه، باعتبار كل هذه السنين، بل الملايين منها؟

لا أحد يعرف الإجابة عن هذا السؤال. ربما يكون أصل الحياة مجرد مصادفة، أو حادثة كيميائية مذهلة غير محتملة أو غير مرجحة الحدوث، واقعة لا يُتصور حدوثها مرتين فى كل الكون. أو أنها ربما كانت أمرًا محتومًا ومعتادًا مثل تشكل بللورات الملح. كيف لنا أن نعرف أيًا من هذه التفسيرات هو الصحيح؟

دعنا نلقى نظرة على نظرية المصادفة الكيميائية تلك، وكما سلف شرحه فى هذا الفصل تعتمد الحياة الأرضية على بعض الجزيئات المعقدة والباهرة البناء، والذى أُقيم بعناية. حتى فى جزىء عضوى بسيط مثل الدنا يتكون من بلايين الذرات. والسلسلة المتعاقبة المحددة للذرات هى من الأمور العصيبة والحاسمة، إذ لا يمكنك أن تحصل على نتيجة أو تعاقب اعتباطى أو تحكمى، لأن الدنا تمثل دليل البناء فى صناعة العضو الحى. وتغيير قليل من الذرات سوف يهدد البناء كله، وتغيير عدد كبير منها فلن يكون ثمة «كائن» على الإطلاق.

وهذه الحالة يمكن مقارنتها بتعبير «تعاقب» فى رواية أدبية. قم بتغيير بعض كلمات هنا أو هناك بعشوائية وربما سيشوه الموقف قليلاً. ولكن قم ببعثرة كل الكلمات. وسيكون الاحتمال الأكبر، ألا تكون هناك رواية بعد ذلك وستكون هناك روايات أخرى. بالكلمات نفسها، ولكن بتركيبات مختلفة، ولكن يمكن تحويل

مجموعة سلسلة تعاقب الكلمات التي تصنع الروايات إلى جزء متناهى الصغر من الكل الممكن من سلاسل تعاقبات الكلمات.

فى القسم السابق أعطيت نماذج لغرابة كيف يؤدى خلط عشوائى للحامض الأمينى إلى الطريق الصحيح، للوصول إلى جزىء بروتين عن طريق المصادفة. هذا كان لبروتين واحد، بينما الحياة كما نعرفها تتطلب مئات الألوف من البروتينات المتخصصة، ودع عنك جزيئات الحامض. هذا الشذوذ لصناعة البروتين من خلال المصادفة البحتة، أشبه ما تكون نسبته واحد من كل $١٠^{٤٠٠٠٠}$ (ويعنى واحدًا متبوعًا بـ ٤٠٠٠٠ صفر، والذى يحتاج لفصل كامل من هذا الكتاب إذا أردت أن أكتب الرقم بالكامل)، وهنا يكون تصنيف أوراق الكتب، بحيث تخرج مرتبة تصادفًا لألف مرة سهلاً بالمقارنة مع النسبة المذكورة. وفى ملحوظة شهيرة[١٧] للفلكي البريطاني فريد هويل "**Fred Hoyle**" شبَّهَ فيها تلك الشواذ المؤدية إلى التركيب الذاتى العفوى للحياة بمكافئ أن تكنس عاصفة كل ما فى فناء من النفايات، لتنتج عنها طائرة بوينج ٧٤٧ تامة الصنع والأداء.

لقد اعتدت أن ألقى محاضرات فى إمكانية وجود الحياة فى الفضاء الخارجي. وبشكل ثابت فهناك واحد من المستمعين سوف يُسمعنى هذه المقولة: لا بد أن تكون هناك حياة على كواكب أخرى، لأن هناك نجومًا عديدة تبدو، أو لديها بالفعل إمكانيات استيطانها، هى إذن جدلية منتشرة وعامة. وفى رحلة قمت بها مؤخرًا إلى أوروبا للاشتراك فى مؤتمر حول الحياة فى الفضاء، وجدت فى الطائرة أن من بين برنامج تسلية الركاب، ما يتناول البحث عن الحياة خارج الأرض، وكان الوصف الدعائى للعرض يقول[١٨]: مع وجود ٠,٥ تريليون نجم تحلق عبر الحركة اللولبية أو الحلزونية لمجرّة درب التبانة "**Milky Way Galaxy**"، فإنه يبدو أنه من غير المنطقى الظن بأن كوكب الأرض وحده هو الذى يحوز حياة ذكية، وكان استخدام كلمة «غير المنطقى» من قبيل سوء الحظ أو سوء التقدير.

لأن المنطق سليم مائة بالمائة، وهناك بالطبع الكثير من النجوم على الأقل عشرة بلايين من البليون فى الجزء المرئى من الكون، ولكن هذا العدد، وإن كان يبدو لنا ضخمًا فهو مع ذلك صغير بمقارنته مع درجة الشذوذ المهولة لعشوائية التركيب الذاتى ولو لواحد من جزيئات البروتين. ربما يكون الكون كبيرًا ولكن الحياة لو تشكلت مرة من خلال إثارة عشوائية فى فناء للفضلات من الجزيئات، فسوف تكون الفرصة ضئيلة لحدوثها مرتين.

بعض الناس يشعرون أن شيئًا أساسيًا مثل وجودنا، لا يمكن إرجاعه إلى مجرد انعطاف كيميائى، ثم إخفاء المشكلة تحت السجادة بعبارة «حادثة» أو «واقعة» كوسيلة للإمساك بقمة المسألة. أحيانًا ما يأخذ مبدأ التوسط هذا الشكل: ليس ثمة شيء خاص أو استثنائى حول مكاننا من الكون، فالأرض تبدو كوكبًا نموذجيًا يدور حول نجم نموذجي فى مجرة نموذجية. إذن لماذا لا تكون الحياة على الأرض هى أيضًا نموذجية؟

ولسوء الحظ، فإن مثل هذه الجدلية لن تثمر شيئًا. إن وجودنا نفسه لا بد أن يكون الاستثناء للقاعدة التى نرى أنها غير استثنائية. وإذا كان هناك كوكب واحد عليه حياة، فيتوجب أن يكون كوكبنا! ومن الواضح أننا لن نجد أنفسنا على كوكب لا حياة فيه وهذا بالتعريف ذاته. ومن ثم لن تكون الأرض قد اُختيرت بعشوائية فى نموذج الكون، لأننا نحن الذين تخيرناها بوجودنا نفسه.

وبالرغم من هذه الحقيقة التى لا يمكن إنكارها، فعلى العلماء أن يحاولوا شرح العالم فى حدود القوانين والمبادئ أيًا ما كان هذا ممكنًا. لن يكون لك مهرب إذا جادلت فى أن الحلقات حول زحل قد تشكلت كحادثة تجمع أعدادًا من عناصر تتحرك مستقلة عن بعضها. إن العودة إلى «المصادفة» يجب أن يكون منظورًا إليها كآخر ما يرجع إليه. وهذا لا يعنى أن المصادفات لم يسبق حدوثها هى أو غيرها[١٩]، ربما تكون الحياة

على الأرض مصادفة. ولكننا على الأقل يجب أن نحاول وصف النشوء الإحيائى كعملية فيزيائية عادية. وفى الفصول القادمة. سوف أُجيل النظر فى بعض المقترحات الخاصة بالإقلال من الضخامة البادية لشذوذ الحدوث العفوى للحياة.

الهوامش

(١) التطور من الجزيئات حتى الإنسان "Evolution from Melocules to Men" والذى أشرف على تحريره د. س. بندال "D.S. Bendall"

(Cambridge .University Press, Cambrdige 1983, p. 128)

(٢) يشيع بين البيولوجيين أن المورث العام ليس مجرد خلية واحدة بالمعنى الحرفى، ولكـن تجمع من الميكروبات، تستطيع الجينات عبرها الانتقـال «متـأخرًا» والمقايـضة مـع الجينات.

(٣) «داروين» **Darwin** لـ: أدريان ديزموند **Adrian Desmond** وجون مـور **(Michael Joseph, London, 1991, p. 230). John Moore** ولاحـظ أن شـجرة الحيـاة تتنامى مع مسيرة الزمن للأمام بالمقارنة مع عائلة الشجر – على الأقل كبداية – والتـى تتنامى إلى الوراء من الزمن.

(٤) انظر على سبيل المثال: التطور فى النظم البينية متطرفة الحرارة على الأرض (وعلى المـريخ؟) **"Evolution of Hydrothenmal Ecosystems on Earth and Mars ?"**، الـذى أشرف على نشره جريجورى بوك **"Gregory Bock"** وجامى جودى **"Jamie Goode"**

(Wiley & Sons Ltd., New York 1996, Chapter 1 and 2).

(٥) مصدر الضوء المتضّام **Stromatolites** يستغرق أو يحيط بأنشطة النظم الميكروبيـة الأخرى أيضًا بما فيها الطحالب، ومن الصعب القول بماذا تحديدًا تُصنع الأحفورات.

(٦) فى عام ٢٠٠٢ أحاطت الشكوك بقائمة معلومات الواراوونا **"Warrawona"** كدليل على الأحفورات الماكروية، وذلك بواسطة مـارتن بـرازيير **"Martin Brasier"** مـن جامـعة أوكسـفورد **(See Nature 416, 76 (2002)).**

(٧) لمزيد من فهم الوضع الجيولوجى الحالى والذى يقترح أن هذه العضويات تعيش فى نظم متطرفة الحرارة بالقرب من قاع الكالديرا **Caldera** الفيضانية وعلى ذلك تكون معتمدة على الكيماويات **Chemotrophs** عن أن تكون الباكتيريــا الزرقـــاء: داكنـــة اللـــون **Cyanobacteria**.

(٨) دليل على الحياة فوق الأرض منذ ٣٨٠٠ مليون سنة مضت « **Evidence for life on Earth before 3800 million years ago**» لـــ: س.ج. موجزلز وآخـــر " **S.J. Mojzsls et al**». **(Nature 384, 55, (1996))**. ومع ذلك ففى أواسط عام ٢٠٠٢ قامت شكوك جادة على مصداقية هذه النتيجة.

(٩) الحياة فيما وراء الأرض "**Life Beyond Earth**" لـــ: جيرالـــد فينبـــرج **Gerald Feinberg** وروبرت شابيرو '**Robert Shapiro**». **(William Morrow, New York 1980, p. 113).**

(١٠) سر أصل الحياة "**The Mysteryot Lif's Origin**" لـــ: شارلز ثاكستون " **Charles Thaxton**"، وولتر برادلى "**Walter Bradley**"، وروجر أولسن **Roger Olsen** .

(Philosophical Library of New York, New York 1984, p. 12).

(١١) التطور من الجزيئات حتى الإنسان الذى أشرف على تحريره د.س. بندال

(Cambridge University Press, Cambridge 1983, p. 128).

(١٢) اقتباس من خلق الحياة "**The Creation of Life**" لأندرو سكوت "**Andrew Scott**».

(Blackwell, Oxford 1986, p. 49).

(١٣) اقتباس من: العوالم وهى فى حالة الصنع **Worlds in the Making** لـــــ: ســفانت أرهينيوس "**Svante Arrhenius**".

(Harper, London 1908, p. 216).

(١٤) لو حدث تفاعل ما فوق سطح، مثل الوحل أو الطفلة أو الصخر، سيكون مختلفاً عن جسم في مياه حساء لأن اعتبارات الديناميكا الحرارية ستتحول لصالح التركيب والتأليف.

(١٥) وهذا أزيد كثيرًا على عدد الذرات فى الكون المرئى أو الملحوظ.

(١٦) ادعى فوكس **Fox** نفسه أن الأمر الصحيح لم يحدث من خلال المصادفة، ولكن الكيمياء نفسها هى التى فضلت الشريحة المتناهيـة الـصغر لسلـسلة البيبتيـدات ذات الـصلة بالبيولوجيا. انظر على سبيل المثال: تطور الجزيئـات وأصـل الحيـاة **"Molecular Evolution and the Origin of Life"** الذى أشرف علـى تحريـره س. فـوكس **S.Fox** و. ك. دوز **"K. Dose" (Marcel Dekker, New York 1977)** .. والادعاء بأن الكيمياء تعرف شيئًا على نحو ما عن البيولوجيا هو مجـرد نفايـة تثيـر الغضب، وهو ما سأعود إليه فى الفصل العاشر.

(١٧) الكون الذكى **"The Intelligent Universe"** لـ: فريد هويل **«Fred Hoyle'»**.

(Michael Joseph,London 1983, p. 19).

(١٨) أمنية **"Omnia"**

(British Air Ways Fligt Mgazine September / October 1997, p. 26).

(١٩) هو تفسير يعتمد على ظروف نزوية، ولو أنه ليس مستحيلاً، وإن كـان غيـر محتمـل ورائيًا. أى فى زمن ماض ونحن ربما نأخذ بالأفضليات أو المميزات فى مواجهـة تلـك الظروف وكمقياس كمى لما لا نعتقد به، أو لنقص الثقة فى نظرية الحظ السعيد أو القائمة على رمية بغير رامٍ.

الفصل الرابع

الرسالة التى تبعث بها الآلة

فى يوليو من عام ١٩٩٧ نشر العلماء صورًا لآلة جيتار لا يتجاوز حجمه خلية بشرية واحدة، ولا تزيد تخانة أوتاره على تخانة مائة ذرة. وهذه الآلة القزمية **Lilliputian**(*). كانت منحوتة من السيلكون **silicon**(**) المتبلور الشفاف عبر تقنية حفر تستخدم فيها حزمة أشعة أليكترونية. وكان المقصود بها التحايل لسبر مشكلة ما، ولكنها بطريقة درامية سلطت الضوء على تقدم تقنى مهم: الآلات يمكن صنعها الآن فى هيئة متناهية الصغر لدرجة أن يصعب رؤيتها بالعين المجردة. لقد صنع العلماء تروسًا لا ترى، وموتورات فى حجم رأس سن القلم الرصاص، ومحولات كهربائية ضئيلة الحجم لدرجة أن تتعادل مع جزىء بشرى. وحتى نجد مهندسى شركة **IBM** وقد استطاعوا أن يختموا سطحًا كريستاليًا باسم الشركة بحجم يعادل صفًا من الذرات الواحدة بجوار الأخرى. وعلى الجملة فإن تقنية النانو (الجزء من المليار) تمثل برعمًا يزدهر ويَعِد بتثوير نمط حياتنا: وهى تقنية البناء بمقياس يصل إلى جزء من البليون من المتر.

هذه المنجزات «النانوية» تخطف الأنفاس بحق فى مجال تطبيقاتها، ولكننا يجب ألا نفقد رؤيتنا لحقيقة أن الطبيعة هى التى كانت نانوية فى البدء. والعالم مملوء بالفعل بالآلات النانوية، والتى يطلق عليها اسم الخلايا

(*) تعبيرًا عن الأقزام (لا يتجاوزون طول الإصبع) المتخيلين من سكان جزيرة ليلى بوت الخيالية (المترجم).

(**) عنصر لا فلزى (المترجم).

الحية. وكل خلية محتشدة ببنـاءات صـغيرة، وكأنهـا قادمـة علـى التـو مـن كتيب إرشادات لمهندس ما. لاقطـة الحـروف الـصغيرة ومقـصات (شـبيهات المقصات) والمضخات، والموتـورات، والروافـع، والـصمامات، والمواسـير، والسلاسل، وحتى العربات الـوافرة هنـا وهنـاك. كـل المكونـات المتنوعـة تتلاءم مع بعضها البعض، مُشَكِّلة فى مجموعها توظيفًـا ناعمًـا وسـهلاً، تمامًـا كخط إنتاج متعاون الأجزاء فى مصنع: تلك هى الخليـة الحيـة. هـذا ومعجـزة الحياة لا تنحصر فى أنها مـصنوعة مـن أدوات نانويـة، ولكـن فـى أن هـذه الأدوات المتفرقة فى نوعيتها مدمجة مع بعضها بطريقة رفيعة التنظيم.

ما سر هذه المنظمة المدهشة؟ كيف لذرات غبية أن تفعـل ذلـك؟ وبـصفة فردية، فإن الذرات يمكنها أن تتدافع مع جاراتها وتتواثق أو ترتبط معها فيمـا إذا كانت الظروف صحيحة. والتى على نحو جمعى، تحقـق أعاجيـب مـن البنـاء والسيطرة فى درجة من التناغم المنضبط والمعقد، والذى لا يـستطيع أى مهنـدس بشرى أن يصل إليه على نحو ما اكتشفت الطبيعة – ولحسابها الخـاص – كيـف تقوم بذلك. لقد عرفت كيف تبنى هذه الآلة المعقدة التى يـصعب تحليلهـا، والتـى نسميها الخلية الحية، مستخدمة فقط المواد الأولية المتاحة والمختلطة مـع بعـضها البعض بغير انتظام. وهى تكرر هذا العمل الفذ كل يوم فى أبداننا وفى كل لحظـة تولد فيها خلية جديدة. إن هذا فى حد ذاته يعتبر إنجازًا مدهشًا. والأكثر من ذلك أن الطبيعة صنعت أول خلية من أول الخط.

كيف تم ذلك؟

إننى كفيزيائى متواضع حين أفكر فى الحيـاة علـى مـستوى الجـزىء، فإن السؤال الذى يظل يلح على ذهنى هو: كيـف لكـل هـذه الـذرات التـى لا

عقل لها أن تعرف ماذا تفعل؟ إن تعقيد الخلية الحية لشيء هائل، إنه يشابه مدينة فى أقصى حالات النشاط القائم على التعاون. كل جزىء فيها له وظيفة محددة، وله تصنيفته فى المخطط العام، بحيث يتم إنتاج المطلوب. ثمة كثير من التعديل والإبدال يتم هناك، حيث على الجزيئات أن ترتحل عبر الخلية لتلتقى مع أخريات فى المكان المناسب وبنظام محدد يسمح بأن تقوم المجموعة بعملها بطريقة ممتازة. وكل هذا يتم دون قائد أو رئيس يحدد لها الخطوات أو الموقع الذى يتحركون منه أو إليه. ليس إذن ثمة مشرف يراقب أنشطتها. فالجزيئات ببساطة تقوم بما عليها أن تعمله: تقوم بحركتها الداوية وهى عمياء، وتلتقى بالأخريات من نظائرها وتتعانق معها بعد الارتطام. وعلى مستوى الذرات المفردة فإن الحياة أشبه بمجتمع مثالى من دون حكومة تقوده – تتخبط فى فوضى لا هدف لها. ولكن على مستوى الجماعة فإن هذه الذرات المفتقدة للتفكير تؤدى وتقوم معًا بأداء ما يمكن أن نسميه «رقصة الحياة» على درجة من الدقة الرائعة والشديدة الحساسية.

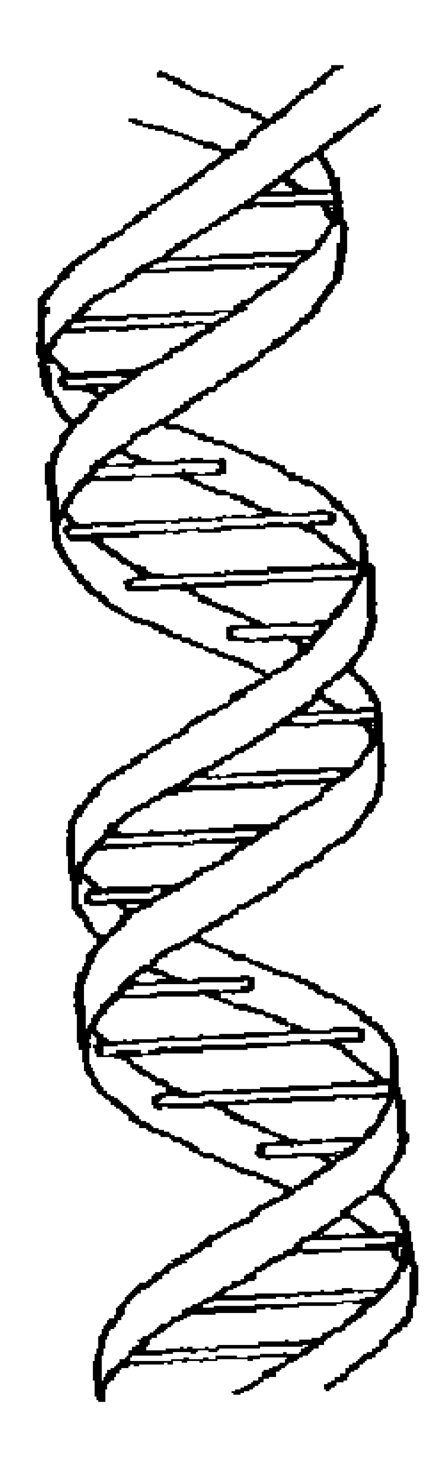
هل للعلم أن يشرح هذه العملية الرائعة والفخيمة بشكل استثنائى وذاتى القيادة وهى تعزف لحنها دون قائد للأوركسترا سوى ذاتها؟ ثمة بعض من الناس يرفضون ذلك بشكل سطحى[١]. ويعتقدون أن الخلية الحية، والتى يسودها التعاون الشديد فى إطار خطة فى أقصى درجات الانضباط، ليست مع كل هذا نتاج قوى فيزيائية عمياء وحدها. ويقول إن العلم ربما يُقَدِّر هذا الملمح الفردى، ولكنه لن يستطيع أبدًا أن يشرح الوضع الكلى العام لمنظمة من هذا النوع، أو كيف تجمعت أو تركبت الخلية الأصلية فى أول الأمر.

وأنا هنا أختلف مع هؤلاء، معتقدًا أن العلم فى نهاية الأمر سوف يتسنى له أن يعطينا تفسيرًا مقنعًا لأصل الحياة. ولكن فقط إذا ما تم الإمساك بالمسألة على مستويين: الأول على مستوى الجزىء، وهو موضوع هذا الفصل، والذى حقق التقدم فيه درجة عالية من التأثير. فعلى مدى عقود قليلة مرّت، حققت البيولوجيا الجزيئية خطوات واسعة فى تحديد أى جزىء يفعل ماذا من أجل ماذا. وقد «وُجد على الدوام أن الطبيعة بأدواتها النانوية تعمل طبقًا لقوانين وقوى الفيزياء العادية» ومع ذلك سيكون من الخطأ افتراض أن الجزيئات هى كل ما هنالك بالنسبة للحياة. ونحن لم نعد نشرح الحياة بواسطة تصنيف أنشطة الجزيئات بأكثر من تقديرنا لعبقرية موتسارت **Mozar** أو أينشتاين أو كيف تعمل العصبونة العصبية "**neurone**"(*). وباستخدام العبارة المألوفة: فإن الكل أكبر من كم أجزائه. وهو ما يعنى أن كلمة «عضوى» **organism** ذاتها تفيد التعاون على مستوى جماعى، لا يمكن إدراكه من خلال دراسة أجزائه فقط. ومن دون فهم هذا النشاط الجماعى، فسنكون قد شرحنا الحياة على نحو جزئى فقط.

ضاعف ثم ضاعف: أو كرّر التجربة واستمر فى التكرار:

لقد وضعت التناسل أو التكاثر فى الفصل الأول قريبًا من قمة قائمتى فى تعريف خصائص الحياة. ومن دونه تتوقف الحياة طال الوقت أو قصر. ولوقت طويل لم تكن لدى العلماء سوى أفكار قليلة عن كيف للحياة العضوية أن تعيد إنتاج ذاتها. كانت هناك فكرة غامضة عن وجود ثمة جينات غير مرئية تنقل رسالة عضوية من جيل إلى الجيل الذى يليه، فكرة لا تكشف إلا القليل عن كيف تقوم الخلايا بذلك. ومع التقدم فى البيولوجيا الجزيئية، واكتشاف الدنا **DNA**، فقد وُجد حل لهذا الغموض أو السر.

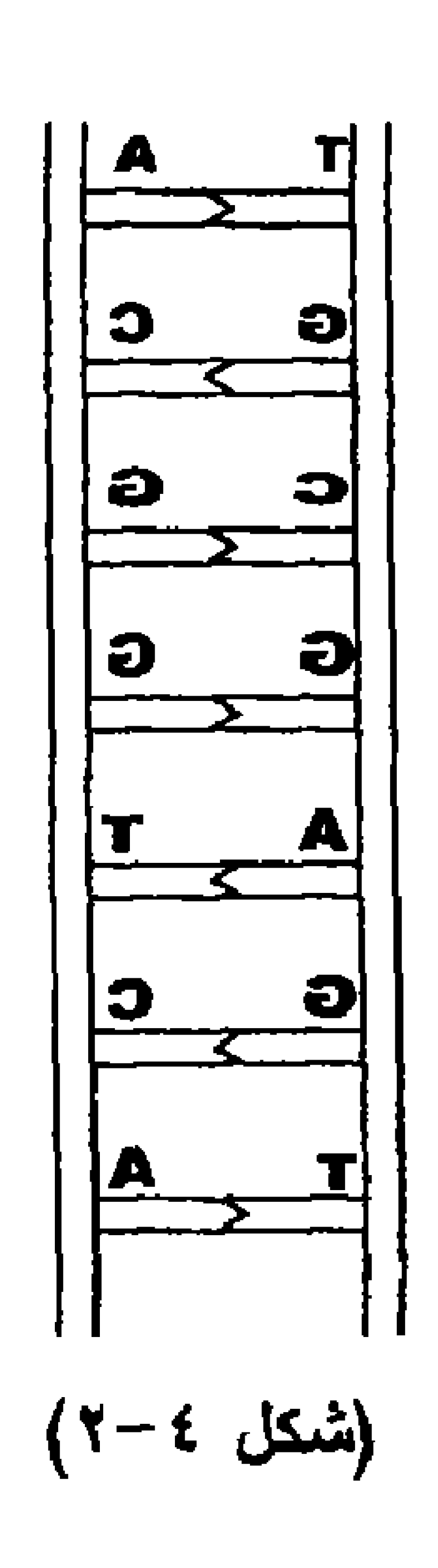
(*) العصبونة العصبية هى مركز أو موقع التلاقى بين الشبكات العصبية بالمخ (المترجم).



(شكل ٤-١)

حلزون مزدوج. بناء جزىء الدنا هنا يظهر على نحـو تخطيطـى. ولاحـظ أن الخطين الحلزونيين يرتبطان معًا بروابط عرضية. تلك التى تلعب الدور الحاسم فى حفظ المعلومات البيولوجية.

وبالوصول إلى ضرورة المسألة، فإن سر التناسل يكمن فى تكرار تجربـة الجزيئات ونسخ ذواتها. وقد تبدو مسألة أن الجزىء يصنع نسخة مـن ذاتـه، ذات طابع سحرى، ولكنها فعليًا مجرد عملية مستمرة، وفى خط مستقيم يتجـه للأمـام. والفكرة الرئيسية فيه تقوم واقعيًا على خضوعها لقواعد تجربة هندسية أولية. وقـد تكون الفكرة الأولى التى يمكن استخلاصها واضحة، ولكنهـا حاسـمة الأهميـة: الجزيئات لها أشكال واضحة لا لبس فيها. الجزيئات العضوية ليست مجرد شـكل كروى بسيط أشبه بالفقاقيع، إنما هى التى تنحت بصفة مبدئية كل ملحقات الجسد، مثل الأذرع والكيعان والفجوات والحلقات. ولولا قوى التبادل الذرى التى تملـى أو تأمر من التى تعصى أو تتمرد على من، ما كان الأمر ليتم. إنها عموميـة البنـاء الثلاثى الأبعاد للجزيئات العضوية التى تحدد بقوة فيما يشبه «الاصطنبة» (القالـب أو الطراز أو النموذج) قابلياتهم البيولوجية. لقـد كـان الفلاسـفة الفيثـاغوريون "Pythagorean" هم الذين إعتقدوا أن الهندسة هى مفتاح العالم أو الكـون، ولـذلك أتوقع أنهم كانوا سيسعدون للنتيجة التى أشرت إليها.



(شكل ٤-٢)

دنا غير مجدولة: هنا الحلزون المزدوج قد تم تصويره، بحيث يكشف عما يشبه السلم. ودرجات هذا السلم تتكون من أزواج متتامة مع بعضها من الجزيئات، آخذة شكل القفل والمفتاح على نحو متضام وحميمى.

الدنا تمثل قاعدة المعلومات «البنكية» - إذا جاز التعبير - ذات الطابع الجينى. وهى القائمة بتكرار التجربة (إعادة طبع أو نسخ ذاتها)، التى ترقد أو تكمن فى قلب عملية التكاثر البيولوجية. ودعنى أصف لك كيف تقوم الدنا بإعادة نسخ ذاتها، مستخدمةً عمليةً هندسيةً بسيطة. بناء الدنا هو ذلك الحلزون المزدوج الشهير، الذى اكتشفه كل من كريك "Crick" وواتسون "Watson" فى بواكير الخمسينيات من القرن الماضى، وتظهر تركيبته على نحو تخطيطى فى الشكل «(٤-١)»، ولاحظ أن الخطين الحلزونيين المجدولين يرتبطان بروابط عرضية توثق بينهما. وبالنسبة لتفسيرى، فإن الشكل الحلزونى هو أمر ثانوى واتفاقى، وعلى هذا، ولكى تكون الأشياء أكثر بساطة، تخيل هذه المجموعة من اللغات المجدولة فى الحلزون قد تم فردها لتشكل نوعًا من السلالم (انظر الشكل ٤-٢). فإن درابزين السلم هما الخطان الحلزونيان، أما درجات السلم فهى تتطابق مع الروابط العرضية. وتقوم هذه الدرجات بدور «السقالات» فى البناء، والتى تمسك أو تربط

الجزيئات مع بعضها البعض. ويتركز عمل الجزء الخاص بالدنا على هذه الدرجات العرضية.

وهذه الدرجات ليست كلها متساوية، ولكنها تقوم على تنويع من الجزيئات تسمى النيوكليوتيدات **nucleotide**[*]. والتى تقوم بدورها على قاعدة من مواد تحمل أسماء كيماوية: أدينين **adenine**، وجوانين **guanine**، وسيتوزاين **cytosine**، وثيامين **Thyamine**[**]، والتى يشار إليها جميعًا بالأحرف الأولى من أسمائها الإنجليزية **A, G, C, T** للاختصار، (والتى سنداوم على استخدامها هنا لتلافى الإرباك). وكل درجة سلم تتشكل فعليًا من زوجين من هذه القواعد من كل نهاية لها إلى النهاية الأخرى الموثقتين بالدرابزين، وهنا بالذات تظهر الهندسة. نجد أن **A** مصنوع خصيصًا لغرض يتلاءم جيدًا مع **T**، بينما **G, C** مصممان بإحكام ليأخذا هذا الموقع معًا من البناء العام. والقوى التى تربط هذه الأزواج القاعدة هى فى العادة أقرب إلى الضعف. تخيل أنك سحبت بقوة درجتى السلم بحيث يبتعد كل منهما عن الآخر، كما لو قام منشار بنشرهما من وسطهما (انظر الشكل ٤-٣)، وبالتالى ستبدو كل درجة سلم وكأنها مجداف وحيد له ذراعان منفصلتان، وهى القواعد غير المتضامة، وافترض أن إحداهما تحمل المتتابعة **TGCCAETT**، فبالتالى ستحمل الذراع الأخرى المتتابعة المتممة لها **ACGGTCAA**. ويمكنك بالتالى إعادة تركيب السلم بأن تصفّ قاعدة الأزواج الصحيحة مرة أخرى وتطبق على النهايات المفتوحة فى كل درجة سلم ليتضامّا معًا مرة أخرى. وفكرة أن كل قاعدة فى جزىء الدنا لها شريك بهذا الشكل يجعل من درجة السلم نوعًا من الطابعة بالنسبة للدرجة الأخرى من السلم، فإذا كانت لديك جديلة واحدة لا تقلق، حيث يمكنك أن تعرف شكل بناء الجديلة الثانية باستخدام قواعد أو قوانين الأزواج: **A** مع **T** و **C** مع **T**.

(*) أحد المكونات الأساسية للحمض النووى والمتكونة من أساس «بورينى»: بعض السكر وبعض الفوسفور (المترجم).

(**) وجميعها تشكل الأساس البورينى للحموض النووية: الدنا والرنا والسابحة ضمن المادة السائلة السيتوزيل sytosel غير القابلة للانحلال فى هيولى الخلية (المترجم).

تلك هى قاعدة الطبع أو التضام القائمة عليها عملية النسخ. ولكى تعرف كيف؟ تخيل أن بعضًا من الحلزون المزدوج لا يعمل بالهمة والنشاط اللذين وصفتهما قبلاً، تاركًا بعضًا من القاعديات غير الملحقة بالنظام، تخرج بعيدًا عن الجديلة. فلو أن هناك مددًا من قاعديات جزيئية حرة - **T,s** و **C,s** و **G,s** و **A,s** - تطفو أو تقوم فى الجوار، فسوف تميل للاقتراب من خلال ضيق الحيِّز المتاح وترتبط نفسها بالجزء المقطوع المعرض للخطر على نحو **A** لـ **T**، و **C** لـ **G**، و **T** لـ **A**، و **G** لـ **C**، وهكذا وعلى نحو أوتوماتيكى يعيدون بناء جديلة متضامة من جديد. وما دامت قواعد الزوجيات تعمل على نحو صحيح، فإن الجديلة الجديدة من المضمون أن تكون متطابقة مع الجديلة الأصلية. وبالتالى، فإن أى جزىء دنا قد تم جذبه إلى خارج موضعه، بحيث يبقى الجزىء الآخر من الجديلة معرضًا للخطر، فسوف يبنى لنفسه جديلة جديدة مشاركة له، أى سيكون هناك جزيئا دنا بدلاً من واحد. ولاحظ أن هذا النوع من طبع النسخة لا يتشابه مع النسخ من خلال آلة تصوير مستندات، إنما هو أشبه من طبع نسخة من الصورة باستخدام النيجاتيف (النسخة السوداء التى تمثل أصل الصورة «المترجم»).

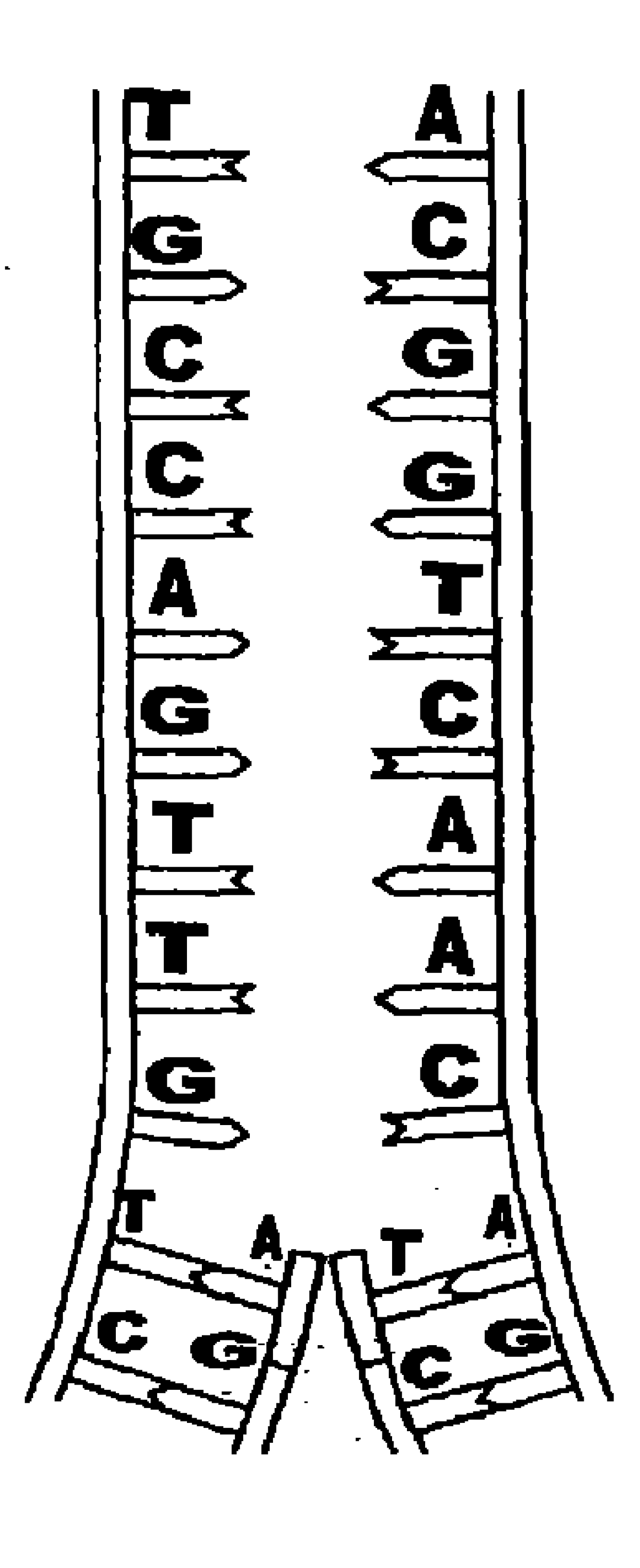
وهكذا يكون التكوين البنائى لتكاثر الدنا قد تم شرحه، ولكن يبقى السؤال حول الجينات وعملية الوراثة. كيف للدنا أن تقوم بتخزين المعلومات الجينية ونقلها؟ وهنا يجىء دور القاعديات الأربع المختلفة. وقد يمكنك التفكير فى **T, C, G, A** كأربعة حروف أبجدية، والتتابع المحدد للحروف، يمكن أن يستخدم فى التعبير عن رسالة. والجين ببساطة عبارة عن خيط أو سلك طويل مع قاعدة من الأزواج أو الحروف التى ينقل كل زوج منها جزءًا من الرسالة. عندما تتكاثر الدنا من تطابق تعاقبى يكون قد تم بناؤه فى النسخة الجديدة.

وبسبب من إزدواجية السلك الممتد على نحو حلزونى والطابع المتضام أو المتتام للعملية، فإن كل جزىء دنا يشتمل فعليًا على نسختين من الرسالة، واحدة إيجابية **positive** والثانية سلبية **negative**، وهكذا تكون المعلومات التى يحتاج إليها جزىء دنا كامل، مُتضمنة فى كل واحدة من الجدائل.

وتتم عملية التكاثر بفاعلية كبيرة بمساعدة بعض الإنزيمات **enzymes** التـــي تسهل مسألة النشاط والحيوية التى تتم بها وأيضًا بعض العمليات المتــصلة بهـــا. وكدليل على هذه الفاعلية البالغة، فإن البناء الأساسى للدنا قد استمر فى البقاء لأكثر من ثلاثة بلايين سنة. ومع ذلك فإن عملية التكاثر ليست تامة مائة فى المائـــة، ولا مفر من وقوع أخطاء من وقت لآخر. وهذه ستغير تتابع القاعديات مثـــل عمليـــة بعثرة للحروف **AGCT**. ولأن الدنا عبارة عن وصفة لصنع كائن عــضوى، فـــإن الرسالة لو انحرفت قليلاً أثناء ظرف التكاثر، فإن الكائن العضوى الناتج عنها ربما سيعانى من عملية «تحول». وأخطاء النسخ هذه، هى مصدر التنوع بين الأجيـــال والتى تمارس فيه عملية الاختيار الطبيعى دورها. ومسألة الرسالة الجينية طويلـــة بشكل مؤثر لأنه على سبيل المثال تشتمل باكتيريا بسيطة كـــ **E.Coli** علـــى عـــدة ملايين من الرموز فى طريقتها الجينية، (الجينوم هو منظومة كاملة من الجينـــات) كافية لملء ألف صفحة من كتاب. أما الخريطة الجينية البشرية، فربما تحتاج مكتبة بأكملها. وكما شرحت فى الفصل الأول، فإن الدنا تحتوى على المعلومات الكاملـــة التى يحتاج إليها صنع وبناء الكائن العضوى، الذى تنتمى إليه، تخيـــل أنـــت هـــذا المشهد، وهو أن الحياة عبارة عن خيط أو سلك من أربعة حروف.

صـــنع الحـــــياة:

لقد جعلت الحياة حتى الآن تبدو، وكأن الدنا هو بيت القصيد فيها والجينات، والتكاثر. وهذا صحيح ولكن من خلال نظرة بيولوجية ضيقة، حيث تنحصر الحياة فى تكاثر الجينات. ولكن الدنا لا تمثل شيئًا فى حد ذاتها، إذ لا بد من بناء الخليـــة بكل كيميائياتها المتخصصة والتى تؤثر فعليًا على عملية التكاثر، وفـــى مـــستويات أعلى من أشكال الحياة، يلزم أن ينبنى كائن عضوى كامل من أجل إقامـــة عمليـــة التكاثر، ومن ناحية الرسم المنظورى للخريطة الجينية فإن الكائن العضوى يمثـــل طريقًا غير مباشر لتكاثر الدنا.



(شكل ٤-٣)

التكاثر: الخاصية المفتاح للحياة. إذا انفصلت الدرجات العرضية للسلم عن بعضها البعض، فإن الأجزاء المبتورة يمكنها أن تغوى القاعديات المنفردة الصحيحة، والتي قد تكون طافية حولها، لكى تبنى سلكًا متصلاً ونشيطًا وجديدًا، وحين يفعل كل نصف دنا هذا، فإن الجزىء سيكون قد نسخ نسخة من ذاته.

لماذا تحتاج الجينات لكائن عضوى متكامل حتى تمد يدها فى الأمر؟ لماذا لا يتكاثرون هم ولذواتهم فقط؟ ستكون الإجابة: لأن الكائن العضوى يستطيع أن يفعل أشياء مثل التحرك من المكان الذى يتعرض فيه للخطر إلى مكان آخر، وأن يجمع غذاءه من المواد الأولية وهذا يساعد الدنا على التكاثر بشكل أكثر فاعلية، أما بناء كتلة حيوية كبيرة، فيحتاج إلى مَدَدٍ آخر، لا يصلح له الدنا. وهذا المدد الآخر يتحصل بشكل رئيسى فى هيئة بروتين protein(*). والذى بتعبير ثانٍ أهم مستوى

(*) أى صنف من المركبات ذات الوزن الجزيئى المرتفع، والمركبة أساسًا من وحدات صغيرة، هى الحموض الأمينية التى تتصل ببعضها بروابط بابتيدية. (المترجم).

فى الجزيئات العضوية المتخصصة. وكما أشرنا قبلاً، فإن الحياة كما نعرفها هى النتيجة الجوهرية لصفقة التحول المفيدة المتأثرة بزوجين من الجزيئات: الدنا والبروتين.

البروتين هو المصادفة السعيدة غير المتوقعة للدنا لإمكانية استخدامه فى بناء مواد مثل جدران الخلايا والإنزيمات enzymes(*)، وهى التى تلاحظ وتسرّع ردود الفعل الكيماوية والإنزيمات هى المادة الكيماوية التى تقوم بـ «تزييت عجلة الآلة البيولوجية». ومن دونها، فإن عملية الأيض سوف تتوقف، ولن تكون هناك طاقة كافية متاحة لعملية الحياة. ومن ثم لا يدهشنا أن جزءًا كبيرًا من قاعدة المعلومات المخزنة يدور حول كيفية صنع أو إنتاج البروتين.

هنا سنعرف كيف يتم إنجاز هذه التعليمات. تَذكر أن البروتينات هى سلسلة طويلة من الجزيئات المصنوعة من الكثير من الأحماض الأمينية المصفوفة معًا، مشكلة ما يسمى بالـ: بولى بيبتايد **Poly peptide**. وكل تتابع مختلف من الأحماض الأمينية يُغِل إنتاجية مختلفة من البروتين، والدنا لديها قائمة بالبروتينات المرغوبة التى يحتاجها الكائن العضوى. وهذه المعلومات مخزّنة بواسطة تسجيل التتابعية الخاصة للحامض الأمينى، الذى يحدد كل نوع من البروتين تتضمنه القائمة. وهى فى هذا تستخدم الحروف الأبجدية الأربعة للدنا: **AGCT**، وكل تتابعية محددة من هذه الحروف تنفث وصفة الحمض الأمينى، بروتين بعد بروتين بالضبط عدة مئات من الأزواج القاعدية لكل منها.

ولكى تصبح هذه القائمة الجافة من الأحماض الأمينية قابلة للتركيب والتجميع والقيام، من ثم بوظيفتها كبروتين، فإن الدنا تطلب المساعدة من جزىء آخر قريب الصلة بها يعرف باسم الرنا **RNA** (اختصار الحامض الريبى

(*) سلسلة من الأحماض الأمينية تحوى ما يزيد على ١٠ أحماض ويقل عن ١٠٠ حمض أمينى، كما لا يزيد وزنها على ١٠٠٠ دالتون (وحدة لقياس الكتلة تعادل ١/١٢ من كتلة نواة الكربون (المترجم).

ribonucleic acid) والرنا بدوره مكون من أربع قاعديات AGCU، وهذا الحرف الأخير U يرمز للـ: يوراسيل uracil المشابه للـ: T ويخدم نفس الغرض الألفبائي. وتجيء الرنا في عدة تنوعات، والذي يهمنا منها هنا هو الذي يعرف بالرنا المرسال "messenger RNA"(*) واختصارًا: m RNA. ووظيفته أن يقرأ الوصفة الخاصة بالبروتين المطلوب وينقلها إلى «مصانع» رفيعة جدًا والتي فيها يتم صنع البروتين، وهذه المصانع الصغيرة تسمى ريبوسومات ribosomes(**). وهي عبارة عن آلات معقدة يقوم بناؤها على الرنا والبروتين بمختلف أنواعه. وتقبع الريبوسومات في شقوق ضيقة حيث تتم تغذيتها بواسطة «المرسال» الذي يكاد يشبه هيئة الشريط المثقب الذي يستخدم في كمبيوتر من الطرازات القديمة. وشريط المرسال هذا يحدث صوتًا شبه انفجاري في الريبوسوم والتي يحمل بعدها التعليمات في شكل «بتة» بعد «بتة»، ممسكًا بالأحماض الأمينية معًا، واحدًا بعد الآخر في تتابع محدد حتى يتلقى البروتين كامل تعليماته. هذا، والحياة الأرضية تصنع البروتين من ٢٠ نوعًا مختلفًا من الأحماض الأمينية(٢). وتسجيلات المرسال هذه هي التي تقوم بعدها الريبوسومات بوضعها معًا بالنظام المطلوب الصحيح.

إنه لمن المثير للاندهاش والعجب أن ترى الريبوسوم وهو يقوم بربط الحموض الأمينية في شكل سلسلة. ومن الطبيعي أن الأحماض الأمينية تأتي طائعة ومجبرة لتنتظم في النظام المُتَطلَّب، جاهزة لأن يتم إمساكها في النهاية في شكل سلسلة. وعليه كيف يتسنى للريبوسوم أن يتأكد من أن مرسال الرنا قد تلقى الحمض الأميني المحدد في كل خطوة من خطواته؟ سنجد الإجابة في تشكيل آخر من جزيئات الرنا باسم الناقل transfer. ويختصر في t RNA وكل جزيء من

(*) مركب يتألف من سلسلة وحيدات نوويدية أحادية الفوسفات، يحوي كل منها سكرًا خماسيًا هو الريبوز مع قاعدة نوويدية، هي إما الأنودايزين وإما الغوانين وإما السيتوداين أو اليوراسيل، وله ثلاثة أنواع: الناقل والمرسال والريباسي: ووظيفته الأساسية هي نقل المعلومات الوراثية من الدنا (المترجم).

(**) والريبوسوم هو عُضيّ يوجد في الخلية تصنع فيه البروتينات عن طريق ربط الحموض الأمينية في سلسلة متنامية وبمعدل يصل إلى ١٥ حمضًا أمينيًا في الثانية (المترجم).

الرنا الناقل يُحضر لخط الإنتاج فى مصنع الريبوسوم نوعًا واحدًا فقط من الحموض الأمينية مقيدًا فى نهاية سلسلته.

وفى كل مرحلة من مراحل تركيب البروتين، تكمن الخدعة فى الحصول على الرنا الناقل الصحيح مع الحمض الأمينى الصحيح الملحق به ليتخلص من حمولته وينقلها لنهاية سلسلة البروتين النامى الآخذ فى التجمع والتركيب، بينما يرفض أى من الـ١٩ نوعًا الباقية التى قد تكون معروضة له. وهذا يتم كالتالى: يقوم الرنا المرسال (تذكر هنا أنه الذى يحمل التعليمات) بكشف جزء من المعلومات (مثل منظومة من «الرسائل») التى تقول: «أضف حمضًا أمينيًا كذا وكذا الآن». ويتم تنفيذ التعليمات بشكل صحيح لأن جزىء الرنا الناقل والمستهدف يحمل الحمض الأمينى المعين، سوف يتعرف على الجزء المعروض من المرسال بواسطة شكله وخصائصه الكيميائية، ومن ثم يرتبط بها. أما الجزيئات الأخرى من الرنا الناقل الذى يحمل الحموض الأمينية الخاطئة، فلن تتناسب مع موقع الارتباط ذاك. وبمجرد حدوث هذا الإغواء لجزىء الرنا الناقل الصحيح ليتم استيلاده فى خط الإنتاج، تكون الخطوة التالية أن يقوم الريبوسوم بحث الحمض الأمينى الواصل حديثًا فى الحمولة لكى يلحق نفسه بآخر سلسلة البروتين. والسلسلة تنتظر فى الريبوسوم، متدلية من نهاية الجزىء السابق من جزىء الرنا الناقل المختار. وعند هذه اللحظة يتحرر آخر جزىء وينفصل عن الريبوسوم، مارًا على السلسلة بأكملها إلى الواصل الجديد من الرنا الناقل، حيث ترتبط بالحمض الأمينى الذى حمله معه. وحينئذ تنمو السلسلة بإضافة الأحماض الأمينية برأسها عوضًا عن ذيلها. وإذا كنت لم تستوعب أو تتابع جيدًا سير العملية من قراءة ما سبق فلا تقلق، لأن الأمر ليس ضروريًا لفهم ما سيلى. أنا فقط وجدت أنه من المناسب أن تشترك معى فى الاندهاش الناجم من سير العملية بأن تنغمس معى فى بعض التفاصيل.

عندما يستكمل البروتين تركيبه، يتلقى حينئذ الريبوسوم إشارة «توقف» من «شريط» مرسال الرنا، وتتقطع السلسلة لتصبح حرة. تَجَمَّع البروتين الآن ولكنه لا

يبقى فى الخارج أشبه بثعبان، إذ بدلاً من ذلك يتكور فى شكل كرة مقصوفة، أكثر منه كشكل قطعة بلاستيك مطاطة، تَمَّ فردها ثم تحررت من الشد لتعود إلى ما يقترب من شكلها قبل الشد. وعملية التكور أو الإنثناء هذه، ربما تستغرق عدة ثوانٍ، ولكنها تظل جزءًا من سر كيف يُحَقِّق البروتين شكله النهائى. وهو لكى يعمل شكلاً جيدًا، فإن الشكل الثلاثى الأبعاد للبروتين لا بد أن يكون صحيحًا مع المضخات والروافع جميعها فى مكانها الصحيح، وأيضًا تدور حوله الذرات الصحيحة. وبصفة مطلقة، فإن التتابعية الخاصة للحامض الأمينى مع السلسلة هى التى تحدد هيئة التشكل النهائى للأبعاد الثلاثة، وبالتالى الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبروتين.

هذه التتابعية المهولة واللافتة للنظر من الوقائع تتكرر فى عشرات الآلاف من الريبوسومات المنتشرة فى كل أنحاء الخلية، لتنتج عشرات الآلاف من البروتين. إن التكرار هنا يستحق أن يُنْجِز، بالرغم من وضوح الغرض، باعتبار أن الجزيئات المشاركة فى الأمر، ليس لها عقل. وبصفة جمعية فإنهم يقومون بتعاون نمطى نموذجى كما لو كان تطبيقًا لحظة معينة. ولكن على المستوى الفردى للجزيئات فإنها فقط تقوم بالعمل المفترض فيها. وحركة مرور الجزيئات داخل الخلية لا بد أن تكون عشوائية أو مشوشة، تقودها عمليات التجاذب والتنافر الكيميائية، وعلى الدوام هى مثارة بفعل الطاقة الحرارية. وعلاوة على ذلك فإنه فى وسط هذه الفوضى العمياء تبرز «الصدفوية».

وربما فى ضوء ما ذكرت، والذى قد يكون مثيرًا، فقد يعطيك الانطباع بأن الحياة فضلاً عن التكاثر، فإن صناعة البروتين هى كل شىء فى مسألة «الحياة». بالطبع من السهل أن تخرج بهذا الانطباع من الاطلاع على الكتب العادية للبيولوجيا الجزيئية. ومهما كانت «صناعة البروتين» بمثابة توصيف وظيفى جيد للدنا، فبالتأكيد لا بد أن هناك ما هو أكثر من ذلك فى مسألة الحياة هذه؟ ماذا عن الطقوس الحميمة؟ بناء أعشاش الطيور؟ وماذا عن البناء الاجتماعى؟ وماذا عن

السلوكيات المثيرة للحيرة والارتباك مثل هجرة الطيور؟ ونسج المقـرات الـشبكية للعناكب؟

لكى تفهم الحياة فى كُلّيتها وروعة تعقيداتها يعنى أن تـذهب وراء مجـرد الجزيئات، وأن يكون الإنسان أو الكائن العضوى فى مجموعة محل التقـدير، مـع كل تراتبية مستوياتها، ومنظماتها ذات المدى الواسع. كما يتطلـب الأمـر أيـضًا التمييز أو التفرقة بين «البناء» و«الوظيفة». والنجاح البيولوجى للجزيئات يتجـذر فى جزء كبير منه على وضوح الأشكال والتآلفات الكيميائية لجزيئات معينة مثـل القاعديات والبروتينات. ولكن ليس من الممكن اختصار «الحياة» فى مجموعة مـن الأشكال الثابتة، أُلقى بها معًا بشكل عشوائى. والقوة التنظيمية للأشياء الحية تتطلب عمليات تعاونية تحتضن الجزيئات وتدمج سلوكياتها فى وحدة متماسكة. وعلى ذلك فإن شيئًا حاسمًا لم يتوضح حتى الآن. ما هو؟

الإجابة تكمن فى أعماق الوصف شبه الممتنع لعملية إنتاج البـروتين. لقـد بدأت بشرح الأشكال الهندسية للجزيئات، وبناء الدنا، وتتابعات الأزواج القاعديـة، ثم تسللت إلى الموضوع بادئًا بوصف الرسائل والمعلومات والتحديدات الوظيفيـة. وباختصار أكون قد انتقلت من لغة الهاردوير إلى لغة السوفت وير. الجين هو مادة ذات شكل متميز فى فراغ ثلاثى الأبعاد، ولكنها أيضًا عبارة عن تعليمـات لعمـل شيء. سر الحياة يكمن فى هذا المحتوى البيولوجى ذى الوظيفة المزدوجة، ولـيس هناك أفضل من الكود الجينى لكى نضىء سر هذه الازدواجية.

الشفرة الوراثية (الجينية):

لقد وصفت الحياة كصفقة مغلقة بين الأحماض الجزيئية والبروتين. ومع ذلـك فإن هذه الجزيئات تقطن مجالات كيميائية مختلفة تمامًا، إذا ما تحدثنا بشكل عار مـن المصطلحات. وهذا ينعكس بوضوح على العملية الحسابية لنقل المعلومـات. فقائمـة

المعلومات المطلوبة لتركيب البروتين يتم تخزينها فى الدنا بواسطة استخدام الحروف الهجائية: **AGCT**، ومن الناحية الأخرى فإن البروتينات يتم صنعها عبر ٢٠ نوعًا من الأحماض الأمينية، ومن الواضح أن من ٢٠ إلى أربعة ربما لا تمضى إلى نهايتها. إذن كيف تتواصل البروتينات مع الأحماض الجزيئية.

وقد اكتشفت الحياة الأرضية حلاً دقيقًا لهذا اللا توافق العددى عن طريق عمل حزم ثلاثية من القاعديات. لأن أربع قاعديات يمكن نظمها فى ٦٤ تبديلاً فى كل ثلاثة منها، ورقم العشرين سوف يعمل مع ٦٤، مع ترك مساحة لما هو زائد على الحاجة وللترقيم وتتابعية درجات سلم الدنا المقررة، ثلاث إثر ثلاث وهو بالضبط التتابع الخاص بالأحماض الأمينية والصادر بشأنها التعليمات إليها.

لكى تترجم أو تنقل من ٦٤ ثلاثيًا إلى ٢٠ حمضًا أمينيًا، معناها أن تعين لكل ثلاثى (ويصطلح على تسميتها بشفرة واحدة «أى مفرد شفرة» **codon**) حمضًا أمينيًا متطابقًا مع الثلاثى ذاك. وهذا التعيين أو التخصيص هو الذى يسمى الشفرة الوراثية أو الجينية. وهذه الفكرة الخاصة بأن الحياة تستخدم شفرة، كان قد اقترحها فى بواكير خمسينيات القرن الماضى جورج جاموف **George Gamow**، وهو الفيزيائى نفسه، الذى افترض النظرية الكونية الحديثة المتعلقة بالانفجار الكبير. وكما فى كل ترجمة فلا بد أن يكون هناك من يجيد لغتين أو شىء من هذا القبيل. وفى هذه الحالة لتحويل التعليمات المشفرة المكتوبة بلغة الأحماض الجزيئية إلى نتائج مكتوبة بهذه اللغة. لعله سيكون واضحًا مما شرحت أن هذه الخطوة الحاسمة الخاصة بالترجمة تحدث فى الكائن العضوى عندما تكون الأحماض الأمينية الصحيحة والمناسبة، قد أُلحقت بالجزيئات الخاصة فى ناقل الرنا قبل عملية تركيب البروتين. (آسف يلزم هنا العودة لقراءة ما شرحته فى هذه النقطة). هذا الإلحاق تقوم به مجموعة من الإنزيمات المتسمة بالمهارة حتى إنها تتعرف على كل من تتابعات الرنا وكل من الحموض الأمينية المختلفة، ومن ثم تزاوج بينهم على نحو صحيح ليؤدوا المنوط بهم.

هذه الشفرة الوراثية مع قليل من الاكتشافات الحديثة على تنوعها، تمثل شيئًا مألوفًا فى كل الأشكال المعروفة للحياة. وحقيقة أنها عالمية يمكن أن تكون مفهومة وذات معنى، لأنها تعنى أنها اُستخدمت بنجاح من كل السالفين لمختلف أنواع الحياة، وأنها كانت من القوة والنشاط لدرجة أن تبقى عبر بلايين السنين من التطور، ومن دونها ستكون عملية إنتاج البروتين مسألة «مرة يصيب ومرة يخطئ».

وثمة أسئلة تسود فى هذا المجال. كيف لهذا النظام الخاص المعقد أن يبرز فى المقام الأول؟ لماذا من بين 10^{70} شفرة ممكنة والقائمة على الثلاثيات، اختارت الطبيعة واحدة للاستخدام العالمى؟ هل لشفرة أخرى أن تقوم بالعمل مثلها؟ وإذا كانت هناك حياة فوق كوكب المريخ هل ستكون لها نفس الشفرة الجينية كما فى الحياة الأرضية؟ هل يمكن لنا تخيل حياة من دون شفرة، والتى عبرها تتوقف صفقة الجزيئات مباشرة مع بعضها على أساس التآلفات الكيماوية وحدها؟ أو أن أصل الشفرة الجينية أو الوراثية ذاتها (أو على الأقل واحدة مفردة منها) هو المفتاح لأصل الحياة؟ وكان البيولوجى الإنجليزى جون ماينارد **John Maynard**، قد وصف أصل الشفرة بأنها من أكثر المشاكل إرباكًا وإثارةً للحيرة فى البيولوجيا التطورية. وكان أورز سزاثمارى **Eörs Szathmary** قد كتب يقول[٣]: «آلية الترجمة القائمة حاليًا، هى فى الوقت نفسه عالمية إلى أقصى حد، ومعقدة إلى ذات الحد، وضرورية حتى إنه من الصعب تصور ما الذى كان سيأتى للوجود، أو كيف كان للحياة أن توجد من دونها».

ولكى تأخذ فكرة عن أى حد تمثل هذه الشفرة أُحجية. إذا أنت ألقيت وراءك الأرقام المستخدمة فى الموضوع. فلماذا إذن، اختارت الحياة أن نستخدم ٢٠ حمضًا أمينيًا وأربعة من النيوكليتايدات القاعدية؟ سوف يكون من الأكثر سهولة مثلاً استخدام ١٦ حمضًا أمينيًا وعمل حزم ثنائية من القاعديات الأربع، بدلاً من الحزم الثلاثية.

وربما أكثر سهولة أن يكون لنا اثنتان فقط من القاعديات واستخدام شفرة مزدوجة مثل الكمبيوتر. لو كان نظامًا أبسط قد ظهر، فسيكون من الصعب أن ترى كيف كان سيعمل النظام الشفرى الثلاثى المعقد. ستكون الإجابة: «لقد كانت فكرة جيدة فى ذاك الوقت». لو أن الشفرة ظهرت فى مرحلة باكرة جدًا من تاريخ الحياة، ربما حتى فى المرحلة قبل البيولوجية، فإن الرقمين ٤، ٢٠، ربما يكونان أفضل الطرق لأسباب كيميائية لها صلة بالمرحلة. الحياة التصقت ببساطة بهذه الأرقام ومن وقتها ضاع الغرض الأصلى منها. أو ربما فرصة اختيار ٤، ٢٠ هو الطريق الأقصى أو الأمثل لفعل ذلك. وثمة ميزة فى قيام الحياة باستخدام تعدد متنوع من الأحماض الأمينية، لأنها معًا تستطيع أن تتشابك فى «خيوط» بطرق متعددة، عارضة خيارات أكثر من البروتين. ولكن هناك ثمنًا أيضًا لذلك، فإنه مع زيادة عدد الأحماض الأمينية، فثمة مخاطرة فى زيادة أخطاء الترجمة. مع الزيادة البالغة من الأحماض الأمينية فى المجال فستكون هناك زيادة أيضًا فى المتشابه منها، ومن ثم يتم الإمساك بالحمض الخطأ فى سلسلة البروتين. وهكذا فربما يكون الرقم ٢٠ هو نوع من التسوية أو الحل الوسط.

وهناك أيضًا مشكلة أشد قساوة تتعلق بمهام التشفير: أى شفرة ثلاثية لأى حمض أمينى؟ كيف يأتى هذا التخصيص؟ حيث إن قاعديات الأحماض الجزيئية والأحماض الأمينية لا يميز كل منهما الآخر بشكل مباشر ولكن عبر توسطات كيميائية، وليس ثمة شىء واضح عن سبب ذهاب ثلاثى معين لحمض أمينى معين. ومن المفهوم أن تكون ثمة ترجمات أخرى. ولكن المعلومات المشفرة هى فكرة جيدة، إلا أن الشفرة الفعلية هى من النوع التحكمى. ربما كانت ببساطة حادثة أو واقعة متجمدة، أو خيارًا عشوائيًا حبست نفسها فيه، من دون أى معنى أكثر عمقًا. ومن الناحية الأخرى، فربما يوجد سبب لطيف لماذا تعمل هذه الشفرة المعينة بشكل أجود، ولو أن شفرة ما تعلو حافتها حافة شفرة أخرى: الجدارة والحكمة فإن التطور فى هذه الحالة سيختارها، ومن خلال عملية تعديل إصلاحية ناجحة،

وبالتالى سيتم التوصل إلى الشفرة القصوى. ويبدو الأمر معقولاً هكـذا، ولكـن لا تخلو هذه النظرية بدورها من مشاكل أيضًا. التطور الداروينى يعمل مـن خـلال الخطوات الوفيرة، محتضنًا أو مُرَتِبًا وسائل الإعاشة للمزايا عبر أجيـال وأجيـال كثيرة. وفى هذه الحالة لن تنفع الشفرة فى إنجاز ذلك، لأن تغيير تخصيص واحد لا يعنى التغيير فى واحد فقط ولكن فى طقم كامل من البـروتين والتـى مـن بينهـا البروتينات المسئولة عن تنشيط وتسهيل عملية الترجمة ذاتها. لـذا، فـإن تغييـر الشفرة ينطوى على مغامرة تغذية آلة الترجمة المزروعة فيها، بحيث تـؤدى إلـى كارثة التغذية المرتدة بأخطاء قد تحطم العملية كلها. لكى تحـصل علـى ترجمـة صحيحة، فعلى الخلية أولاً، أن تترجم على نحو صحيح.

وتبدو هذه النتيجـة مـحملة بالتناقض، وكان كارل وويز **Karl Woese**[٤]. قد اقترح حلاً ممكنًا، حيث اعتقد أن شفرة التخصيص وآلية الترجمة كلتيهما يرتبط معًا. حيث توجد، بدايةً، شفرة جاهزة وفى حالة أولية غير مصقولة، وكذا عمليـة الترجمة ذاتها، تكون فى حالة مشابهة، بل تكاد تكون مُوحِلَة. وفى هـذه المرحلـة المبكرة، والتى ربما لم تكن قد ظهر بعد عدد العشرين حمضًا أمينيًا، وبالتالى لـم تكن الآلية قد استعانت بكفاءة الإنزيمات والمنقحة جيدًا التى تستخدمها الحياة اليوم. ومن الواضح أن بعض التخصيصات الشيفرية، ستكون برهنـت علـى سـلامتها وجودتها عن غيرها، وأن أى آلية تمارس أقل نزعة للخطأ فى عملية التخـصيص هذه لا شك ستقوم بتشفير أكثر الإنزيمات أهمية لها، وهو الإنزيم الـذى سـيحقق الفوز عن غيره من الإنزيمات. وبالتالى، فسيكون التكاثر أكثـر دقـةً، وسـيجرى شيفرته على النحو نفسه، بحيث تسود فى الخلايا الوليدة تلك الإنزيمات الـصحيحة ومعها شيفرتها الخاصة بها. وفى هذا السياق، فإن تشفيرًا أحسن للمهام، قد يعنـى أنه سيكون قويًا ونشطًا لدرجة أنه عند مصادفته خطأ فى الترجمة، بالنسبة للحمض الأمينى الذى قد تم صنعه بالفعل، سيُؤثِر ذلك على الخطأ الـذى سـيجد صـعوبة وغموضًا فى تواؤمه مع الحمض الأمينى. أو أنه فى حالة أن الخطأ قد يتسبب فى

صنع حمض أمينى مختلف. فإنه سيكون قريبًا من الحمض الأمينى المقصود أصلاً، وبالتالى سينجز البروتين مهمّته على الوجه المطلوب. ومن هنا، فإن تعديلات ناجحة من هذا النوع من العمليات ربما قادت للشفرة العالمية التى نراها اليوم تمامًا، مثل صورة يتدرج ظهورها التام من الضبابية الكاملة إلى الوضوح الكامل.

ومن الممكن أن الشفرة، متضمنة تفسيرًا أعمق. ولو أمكن رسم أو وضع قائمة بالمهام المشفرة، فإنه سيصبح ممكنًا تحليلها رياضيًا بحيث نستطيع معرفة ما إذا كانت بالفعل محتوية على نموذج داخلى. وكان بيتر جارفيس **Peter Jarvis** وزملاؤه بجامعة تاسمانيا **Tasmania** قد ادَّعى بأن الشفرة العالمية تذعن لتتابعات رمزية أشبه بمستويات الطاقة فى الجزىء النووى، وربما بالتالى تكون مرتبطة بخاصية ناعمة لجسيم دون ذرى يسمى «المتناسق الفائق» **supersymmetry**(٥). وهذا التطابق الرياضى ربما يكون صدفويًا بحتًا، أو ربما يشير إلى علاقات مهمة وخافية علينا بين فيزياء الجزيئات المتصلة بالموضوع ومنظمة الشفرة(٦).

لقد وجهت القارئ إلى تقنيات الشفرة الجينية بهدف تكوين فكرة مهمة مؤدية مباشرة للقلب من سر الحياة. وأى تغذية **input** مشفرة ستكون عبارة عن أخلاط من المعلومات غير المستخدمة ما دام لا يوجد مفسر يقوم مقام المفتاح الذى يفتح هذه الشفرة. حيث إن الرسالة للشفرة تكون جيدة فقط، عندما تكون قابلة للاستخدام عند وضعها فى سياق ما مثلما نقول: «إنها تعنى شيئًا». وفى الفصل الأول قدمت التفرقة بين بناء الجُمل **syntactic** وعلم دلالات الألفاظ وتطورها **semantic** فى مجال المعلوماتية. ومن ناحيتها، فإن المعلومات الجينية هى مجرد «بناء جُمَل». أما المنفعة للمعلومات المشفرة جينيًا فتتجذّر فى حقيقة أن الحمض الأمينى يستطيع أن يفهمها. إن المعلومات الموزعة على شريط من الدنا لها صلة بيولوجية بالأمر، وعلى المستوى الحديث بلغة الكمبيوتر، فإن المعلومات الجينية هى معلومات دلالات ألفاظ.

ولكى يمكنك إيضاح هذه النقطة جيدًا، ضع فى اعتبارك الكيفية، التى تتوزع بها موضعة القاعديات الأربع ACGT فى الدنا، وكما سبق شرحه فإن تتابعها يشبه الحروف الهجائية أو الألفبائية، ويمكنها إذن أن تتهجى شيفريًا التعليمات الخاصة بصنع البروتين. وأى ترائب آخر للحروف، سوف يكون بالتأكيد غير مفيد بيولوجيًا. وأى جزء رفيع من تتابعية ممكنة تعطى رسالة ذات معنى من الناحية البيولوجية تمامًا بذات الطريقة، التى يشكل بها تتابع معين للكلمات كتابًا له معنى[٧]. وبطريقة أخرى للتعبير عن ذلك: القول بأن الجينات والبروتينات يتطلبان درجة عالية وفائقة الدقة فى تخصصية تعليماتها. وكما ذكرت فى قائمتى لخواص الحياة فى الفصل الأول بأن الكائن العضوى الحى لا ينحصر غموضه فى كونه فى حد ذاته معقدًا، بل لكون تعقيده قائمًا على تخصصية ضئيلة أو رفيعة القوام جدًا. ولكى تفهم كيف برزت الحياة من اللا حياة ستكون بحاجة لكى نعرف ليس فقط كيف تركزت المعلومات البيولوجية، ولكن كيف أن المعلومات البيولوجية المفيدة قد جرى تخصيصها. باعتبار أن البيئة التى ظهر فيها الكائن العضوى لأول مرة من المفترض أنها كانت مجرد وجود عشوائى للجزيئات الأشبه بأحجار البناء. وباختصار كيف برزت المعلومات ذات المعنى مصادفة من قلب الخردة البالية غير المتماسكة؟

لقد بدأت هذا الفصل بالتركيز على الطبيعة المزدوجة للجزىء البيولوجى بحيث تستطيع أن تكون فى ذات الوقت هاردوير – بالذات التشكلات ثلاثية الأبعاد – وأيضًا سوفت وير. والشفرة الجينية فقط توضح لنا أهمية الوجه المعلوماتى للجزىء البيولوجى. ومهمة شرح أصل الحياة تذهب إلى أبعد من العثور على طريقة كيميائية قابلة للتصديق ولو ظاهريًا فى «الحساء» البدائى. نحن فى حاجة لأن نعرف – على المستوى المفهومى – كيف يؤدى مجرد الهاردوير لبروز السوفت وير؟

تلقى الرسالة:

أقوم حاليًا بتحرير كتابى هذا على كمبيوتر عتيق الطراز يحمل ماركة ماكينتوش التقليدية، وله شاشة صغيرة ويحتاج إلى نقرات رقيقة لكى يعمل، وككل الكمبيوترات، فإنه مصنوع أساسًا من البلاستيك ولكن محتواه الداخلى والحاسم يشتمل على معادن وأشباه موصلات، وهذه جميعًا بالإضافة إلى الأسلاك ولوحة المفاتيح والشاشة الزجاجية تشكل ما نتعارف عليه بالهاردوير، أى الأجزاء المرئية الملموسة من الجهاز. ولكن الجهاز يصبح عديم النفع من دون السوفت وير (أى مجموعة الأوامر المكتوبة بلغة من لغات الكمبيوتر، ونضعها فى الذاكرة الرئيسية له لتقوم بتشغيل الجهاز فى اتجاه تنفيذ مهمة معينة «المترجم»)، الذى يقوده إلى ماذا سيفعل. وبالطبع، فإن الأسطوانات المدمجة ذاتها هى من قبيل الهاردوير، ولكن المعلومات المشفرة المزروعة على سطحها هى التى تهمنا. وهى المعلومات التى يجب على الآلة أن تقرأها. وبمجرد ربط السوفت وير الصحيح مع الهاردوير الصحيح، يصبح العمل جاهزًا ويمكن للبرنامج أن يدور.

والحياة قريبة الشبه جدًا من هذا. فالخلية الحية مصنوعة بدرجة كبيرة من البروتين، وهذا ما يمثل الهاردوير والغشاء المحيط بالخلية يشابه الإطار البلاستيكى للكمبيوتر، ربما أو لكى أكون أكثر دقة تشابه الرقائق الميكروويـة **microchips**، والمحفور عليها المطلوب بشكل غير مباشر. وليس من الجيد أن نلقى بكونه من البروتينات فى حاوية، ثم نتوقع بعدئذ حدوث الحياة، حتى ولو معها المواد الخام اللازمة. لأن الخلية لن تفعل شيئًا مبهرًا من دون السوفت وير اللازم. ويجيئنا الإمداد به عادة من الدنا. تمامًا مثل القرص اللين **floppy disk** (الذى يحمل فوق سطحه السوفت وير، ويتم إدخاله فى الهاردوير ليبدأ عمل البرنامج المطلوب «المترجم»). والدنا نفسه هو أيضًا من الهاردوير، ولكن الملمح الحاسم هنا ليس المادة المصنوع منها الدنا، ولكن فى الرسالة المكتوبة بواسطة قاعدياته الزوجية.

ولكن هذه الرسالة فى وسط بيئة جزيئية صحيحة – فى سياق دلالة لفظية صحيحة – ما الذى تتوقعه: إن الحياة تحدث!

وهكذا فإن الحياة عبارة عن خليط فاتن ورائع من الهاردوير والسوفت وير. وما هو أكثر من مجرد التعقيد، بأنها قد أُبلغت بأن تكون معقدة. ودعنى أوضح هذه النقطة الحاسمة البحتة بواسطة زوج من المشابهات. لقد كان القرن الـــ ١٩ هــو قرن الآلة بلا منازع، حيث تم اختراع الكثير منها. ولنأخذ الآلة البخارية على سبيل المثال: كرتان ملحقتان بروافع تتناوب الحركة التى يحددها ضغط البخار، فإذا مـا زاد الضغط تدور الكرة بسرعة، بحيث من خلال قوة الطرد المركزى تدفع صمامًا لكى ينفتح، وبالتالى يخف الضغط. واليوم نصف المبدأ الذى يقف وراء هذا النــوع من الآلية بالتغذية المرتدة **feedback**، ولم نعد نجريها بالكرات، وإنما بــدلاً منهــا نستخدم جهازًا للإحساس، سيقوم بتغذية كمبيوتر صغير أو مــا يــشبهه وبطريقــة كهربائية، معطيًا تعليماته للصمام لكى يفتح أو ينغلق عبر موتور. وسيارة زوجتى لديها شىء من هذا ليحدد كم الوقود بها وكفاءته للغرض. إنه يحدد السرعة التــى يجب أن تجرى بها السيارة عندما يكون الوقود فى حالته الدنيا. والفرق بين السحب والدفع فى التحكم الميكانيكى بآلة بخارية والأسلوب الإليكترونى المذكور، هــو أن الأول عبارة عن حل للمشكلة بأسلوب الهــاردوير، بينمــا الأخيــر يعتمــد علــى المعلوماتية والسوفت وير.

إن قوة السوفت وير فى أنها تقوم مقام السطح، الذى يمثل حدودًا مــشتركة لحيزين، أى الفاصل بين الطباشير والجبن. أعنى تلــك الأنــواع المختلفــة مــن الهاردوير التى لا يمكنها أن تتعامل بكفاءة مع بعضها البعض. قارن الصعوبة فــى محاولة توجيه طائرة ورقية إلى سهولة الطيران ونعومته الذى تطير بــه طــائرة فعلية، وذلك باستخدام مُوَجِّه عن بعد «ريموت كنترول».

الفرق هنا يرجع إلى الهاردوير فــى مقابــل الــسوفت ويــر. إن ســحب أو جر خيوط الطائرة الورقية هو شــىء مباشــر، ولكنهــا طريقــة خرقــاء أو

على الأقل غير رشيقة بالمرة، لاقتـران هـاردوير الطـائرة بهـاردوير الـذى يقود العملية (الشخص الواقف على الأرض). أمـا النظـام المتعلـق بالإرسـال اللا سلكى والذى يقوم أولاً على تشفير التعليمات، ثـم بعـد ذلـك يرسـل هـذه المعلومات بقوة أكبر لتتم ترجمتها على الناحيـة الأخـرى، فهـو نظـام يعمـل بكفاءة أكثر. وبالطبع يمكـن وصـف تـدفق المعلومـات مـن الأرض لطـائرة وبلغة الهاردوير: موجات راديويـة يـتم توليـدها مـن الجهـاز المرسـل إلـى الجهاز المستقبل، حيث تحدث تيارات كهربائيـة مـن شـأنها أن تثيـر الـدوران وتحريك أجنحة الطائرة... إلخ. ومع ذلك، فإن وصـف الهـاردوير علـى هـذا النحو أمر ثانوى بالنـسبة لأداء الطـائرة. لأن الـدور الـذى تلعبـه الموجـات الراديوية هو ببساطة أنها تصبح بمثابـة قنـوات للمعلومـات. الموجـات إذن لا تسحب أو تدفع الطائرة. وبدلاً مـن ذلـك، فـإن المعلومـات المـشفرة تـسخر قوى أخرى أكثر فاعليه للقيام بالعمل.

إن طائرة ورقية متـسمة بالحركـة المتثاقلـة هـى (حرفيًـا) ميكـانيزم سلكى، بينما طائرة قائمة على نظام مـوجى خاضـع للـسيطرة وأكثـر كفـاءة من سابقه بالطبع، هو نظام قائم على آلية المعلومـات المحكومـة. فـى الكـائن العضوى الحى نستطيع أن نرى القـوة الزائـدة الـسوفت ويـر أو المعلوماتيـة. وكيف تمت تنقيتها إلـى حـد لا يـصدق. الخلايـا ليـست ذات طـابع سـلكى كالطائرات الورقية. وعوضـًا عـن ذلـك، فـإن انـسياب المعلومـات يخلـط ويزاوج بين «طباشير» أحماض الجزيئات مـع «الجـبن» البـروتين باسـتخدام الشفرة الجينية. بينما الطاقة المخزنة والقـوى الأخـرى فهـى مـسخرة لعـبء تنفيذ التعليمات المبرمجة مثل اللا سلكى المحكوم فى الطائرة.

وباستخدام هذه الطريقة، فإن مشكلة أصـل الحيـاة تتراجـع إلـى واحـدة تتمثل فى كيف برز السوفت وير المـشفر بالمـصادفة مـن قلـب الهـاردوير. كيف حدث ذلك؟ نحن لا نتعامل هنا مع شـىء بـسيط يتعلـق بتنقيـة وتكيـف.

وليست فقط مجرد تضخيم أو توسيع التعقيد، ولا حتى مزاوجة المعلومات، ولكن مع تغيير أساسى فى المفهوم. إنها أشبه بمحاولة شرح كيف لطائرة ورقية أن تستحيل إلى طائرة قائمة على الموجات المحكومة. هل تسمح قوانين الطبيعة الحالية، وكما نفهمها، بهذا الانتقال؟ لا أعتقد أنها تسمح بذلك. ولكى ترى لماذا لا، فعلينا أن نحفر قليلاً فى عمق السلوك المعلوماتى للحياة.

شفرة داخل الشفرة:

لقد شرحت أن الحياة فى مستواها الأدنى لها نفس البناء المنطقى للكمبيوتر. وهذه الحقيقة تعطينا الفرصة لأن نسبغ بعض الدقة على الأفكار المراوغة، مثل التعقيد والطابع المعلوماتى البيولوجى، وذلك بأن نلجأ إلى نظرية الحوسبة (الكمبيوتر). (وعلى القارئ ألا يعتريه اليأس، فلن أعود فى ذلك للرياضيات المتقدمة). لعل من الكثير الذى يصيبنا بالحيرة والارتباك إزاء الحياة يرجع إلى الاضطراب فى معنى بعض المصطلحات مثل النظام «**order**» والمنظمة **organization** والأنطروبيا **entropy**، والمصادفة **chance**، والعشوائية **randomness**، والمعلومات **information**، والتعقيد **complexity**. هذه الكلمات عادة ما يتم توظيفها بطريقة غير دقيقة وملتبسة، وبصفة خاصة «النظام» و«المنظمة».

ولكن أول الأمر دعنا ننظر فى كلمة «العشوائية»، وسوف أستخدم فى ذلك مثالاً أوليًا، يتمثل فى صف من الواحدات والأصفار كما يظهر فى الشكل (٤-٤). ومن الواضح ألاً عشوائية هناك، ولكن ثمة التكرارية. والطريقة المفيدة فى التعبير عن النموذج المشاهد ذاك يكمن فى مصطلحات «المعلومات» (الطريقة المزدوجة للواحد والصفر يمكن بالطبع استخدامها لتشفير المعلومات، وهذا ما يفعله معظم

الكمبيوترات العادية). ويمكننا إذن، اختصار الخط المشاهد فى الشكل (٤-٤). إلى جملة (اطبع حتى ٢٥ نسخة) فإذا ما اخترت أن أملأ كل الصفحة بصفوف مزدوجة مستمرة، فإنه يندر أن تمتد أو تستطيل الجملة المختصرة تلك. وبكلمات أخرى نحن نستطيع أن نضغط المعلومات المتكررة فى تتابعها إلى صيغة مدمجة أو حسابية، كما يقول الرياضيون. والحساب العشرى هو مجرد «وصفة» أو إجراء رياضى للتعبير أو الإكثار من النتائج المنتجة **output**. وفى الحالة التى نناقشها حاليًا، فإن الحساب المبدئى «اطبع حتى ٢٥ نسخة» يتكاثر أو يكثر من الصف البادى فى الشكل (٤-٤).

1010101010101010101010101010101010101010101010101010

شكل (٤-٤)

صف من تتابع متكرر لنموذج بسيط. ويحتوى على معلومات ضئيلة، بسبب إمكانية وصف بنائه بواسطة إجراء بسيط أو حسبة كمبيوترية بسيطة

والسبب فى إمكانية ضغطنا صفًا طويلاً من الأرقام دون العشرة إلى تعليمات أساسية قليلة، يرجع إلى أن التتابع له نموذج دورى. هذا ويمكننا تخيل نموذج أكثر تعقيدًا أيضًا، سنجده قابلاً للتعبير عنه بصيغة قصيرة أو بطريقة حسابية مقارنة بطول الصف. ومن قبيل المقارنة أيضًا، فإنه إذا كان ثمة صف من الآحاد والأصفار ليس له نموذج أيًا كان - أى لو كان عشوائيًا - فلن نكون قادرين على العثور على وصف قصير له ولا عملية حسابية صغيرة، ستكون قابلة لتكثير النتيجة، مثلما يفعل إجراء كمبيوترى بسيط. وقد صنع جريجورى شاتان **Gregory Chaitin** عالم الكمبيوتر فى **IBM** نظرية شاملة وقوية جدًا، للمعلومات الحسابية والتعقيد، وطبقها على عديد من الأمثلة الفيزيائية ومن بينها الأنظمة البيولوجية[٨]. وقد اقترح تعريفًا للتتابع العشوائى على أنه ذلك الذى لا يمكن ضغطه حسابيًا: أقصر وصف لتتابع عشوائى هو ببساطة: التتابع ذاته.

وباستخدام هذه «الخوارزمية» أى برنامج الكمبيوتر فمن الواضح أن التتابع العشوائى هو أيضًا عملية تتابع لمعلومات تتسم بالثراء، لأن المعلومات لا يمكن دمجها فى صيغة بسيطة، وبالمقارنة، فإن نموذجًا غير عشوائى، مثل النموذج التكرارى فى شكل (٤-٤) يحتوى على معلومات قليلة جدًا، لأنها يمكن اختصارها فى وقت قصير (اطبع حتى ٢٥ نسخة عشر مرات). وإذا كان بيت القصيد كله من تتابع ما هو تشفير المعلومات، مثلما فى الخريطة الجينية مثلاً، فإن هذا لن يفيد، وإنما السبيل الأمثل هى العشوائية.

فى الشكل (٤-٥) يبدو صف الآحاد والأصفار فى حالة عشوائية واضحة. ولكن هل يمكننا التأكد من ذلك؟ كيف لنا أن نعرف أنه ليس ثمة نموذج صلب التركيب يكمن داخل التتابع؟ بالفعل هناك هذا النموذج. فالتتابع البادى فى الأعداد الخمسين الأولى من النسبة التقريبية (Pi=3.14159265-)، يمكن التعبير عنها بشكل ثنائى. ويمكن توليدها أو إكثارها عن طريق سطور قليلة فى برمجة كمبيوترية قائمة على صيغة بسيطة. ومع ذلك فإذا كنت لا تعرف ذلك فلن تستطيع رؤية أى نموذج: التتابع كان متوافقًا مع كل الاختبارات الإحصائية المألوفة عن العشوائية. وبالتالى، فإن النسبة التقريبية باستخدام التعريف الحسابى، ليست عشوائية.

11001001000011111101101010100010001000010110100011

شكل (٤-٥)

العشوائية؟ هذا التتابع الثنائى يبدو عشوائيًا، وغير معروف له أى نموذج بعد. ولكنه يحوى نظامًا مخفيًا. إنها فى الواقع أرقام النسبة التقريبية التى يمكن إكثارها بعملية حسابية بسيطة. وبالتالى ليست عشوائية على الإطلاق. وبمعنى من المعانى، فإن التتابع يحوى معلومات قليلة.

حتى الآن وجهت المناقشة على نحو صارم تجاه الرياضيات؟ ماذا عن الطبيعة؟ إنه يمكننا استخدام مفهوم العشوائية الحسابية لإعطاء تعبير قوى عن فكرة «القانون». إن قانوناً طبيعيًا هو فى جوهره عبارة عن طريقة بسيطة لوصف (أو التنبؤ بـ) سلوك معقد وباستخدام مثال معروف جيدًا: انظر لخسوف الشمس، إذا حددت بنجاح تاريخ كل خسوف ناجح وعبرت عنه بشكل ثنائى، فسيمكنك الحصول على صف من الواحدات والأصفار التى ستبدو عشوائية، ولكن ذلك سيكون مظهرًا مخادعًا. ونحن يمكننا استخدام قوانين نيوتن للتنبؤ بتواريخ الخسوف، وكل السمات الأخرى لكل المدارات الكوكبية. وقوانين نيوتن هذه هى صيغ رياضية بسيطة يمكن كتابتها كلها على كارت بريدى صغير، ومن ثم، فإن المعلومات عن كل تلك الخسوفات، بل كل من موقعى الأرض والقمر فى كل يوم من أيام السنة، هى فى الواقع متضمنة فى مجرد حسبه قصيرة. وعليه، فإن نظام الأرض – الشمس – القمر هى معلومات فقيرة الطابع ولكنها تعرض نماذج عميقة عديدة، وكثيرًا من النظم المطردة(٩).

عملية النمذجة أو النظام يتحققان فى حركة الكواكب، وتمثيلها فى وجود حسابيات بسيطة نيوتونية، هو فى حد ذاته مثال لقانون فيزيائى. وعنها يكون القانون فى حالة عمل، فإننا نعنى أن وصف سلوك نظام ما ليس عشوائيًا، وأن مستقبل النظام يمكن التنبؤ به بدقة بواسطة صيغة مبسطة.

ويمكننا الآن أن نرى الطبيعة الحقيقية للسر البيولوجى، حيث يظهر شكل (٤-٦) تابعًا ثنائيًا مختلفًا. فى هذه المرة. هو خريطة جينية للفيروس **MS2**(١٠). (التهاب الكبد الوبائى بفيروس ب)، معبرًا عنه باستخدام مايلى: **C=10**، **G=01**، **U=11**، **A=00**: والآن فلنسأل السؤال: هل الصيغة المعبر عنها فى شكل (٤-٦) عشوائية(١١)؟ أو أنه توجد صيغة حسابية بسيطة، يمكنها أن تظهرها كنتيجة **output** خارجة عن عملية كمبيوترية؟ وبكلمات أخرى، هل هناك شفرة داخل الشفرة الجينية (أى كتابة تُحَرَّر بعد مسح الكتابة الأولى)، ويمكنها أن تكون ذات

نفوذ على الكائن العضوى»؟ وأعتقد أن معظم الناس سيجيبون عن هـذا الـسؤال بالنفى. سوف يشعرون على نحو حدسى أن التتابع هنا لا بد أن يكـون عـشوائيًا. لماذا؟ حسنا افترض أننى كنت عرضت الخريطة الجينية لكائن بشرى بـدلاً مـن الفيروس **MS2**. سوف يكون كريهًا أو متعارضًا أن تقترح أن القدر الأساسى مـن بنيتنا الجسدية والعقلية بما فيها الكثير من شخصيتنا «يمكن اختصاره إلـى مجـرد صيغة»، من المؤكد أن هناك ما هو أكثر من ذلك بالنسبة للكائن البشرى (بل حتى بالنسبة لفيروس) من الذى يمكن إمساكه فى عملية معالجـة حوسـبية كمبيوتريـة تافهة. تخيل أنك جسد وروح – دعنا نقول – تصبح لا أكثر من الجـذر التربيعـى لرقم غير مميز، ومرتبط ككرنك (عمود الإدارة) لماكينة جزيئية تـستخدم أربعـة حروف هجائية.

...010001110111010010011100110101101011101110101000010...

شكل (٤-٦)

خريطة جينية عشوائية؟ وهذا جزء من الخريطة الجينية لفيروس MS2: والتى بالكاد يجب أن تكون عشوائية، إذا كانت تحتوى على كثير من المعلومات الجينية. الأحماض الأمينية فى البروتينات المسجلة فيها سوف تكون مرتبطة فى نظام عشوائى.

هناك أيضًا سَبَبٌ أقل عاطفية للاعتقاد بأن الجينوم عشوائى بالدرجة الأولى. وظيفة الخريطة الجينية – بعد كل شىء تتلخص فى تخزين المعلومـات الجينيـة. وبوجود التعقيد والتنوعية اللا محدودة تقريبًا فى الأشياء الحية، ومن الضرورى أن تجعلهم يتأقلمون، ومن ثم، فلا بد أن هناك الكثير من المعلومات المتخصصة التـى تحتوى عليها كل خريطة جينية. ولكن إذا كانت الخرائط الجينية وافرة المعلومـات كما تتطلبه وظائفهم الحيوية، فلا بد إذن، أن تكون عـشوائية، (أو بالكـاد تكـون كذلك)[١٢]. إن خريطة عشوائية دورية أو متكررة، على سبيل المثال، سوف تقيدها

أو تعوقها الرسالة الجينية المتكررة بشكل غير نافع، كما مسجل أصيب بعطل. ليس ثمة شفرة داخل الشفرة.

والآن أنت ربما تفكر أنه إذا كانت المنظمة العضوية عشوائية، فإن عملية نشوئها تكون بسيطة لأنه من البسيط أن تنشئ نماذج عشوائية. فقط افتح جرة ملاء بحبوب القهوة وانثر الحبوب على الأرض. وبالتأكيد الطبيعة مكتظة بعمليات، كيفما اتفق «**haphazard**» وتشتتية **chaotic** التى قد تنشئ عشوائية من الجزيئات الماكروية مثل الخريطة الجينية.

إنه سؤال جيد، ويضع علامة على نقطة أننا نواجه الطبيعة الصارمة بحق، والغامضة للحياة بطريقة قوية وصارمة. الحقيقة الأولى: الأغلبية الكبيرة من التتابعات الممكنة فى حمض نووى جزيئى هو تتابع عشوائى. الحقيقة الثانية: ليس كل تتابع عشوائى يعتبر كخريطة جينية. وبعيدًا عنه، فى الواقع، فثمة شذرة رفيعة، رفيعة جدًا، من كل تتابع عشوائى ممكن سوف تكون حتى موجهة للوظائف البيولوجية. والخرائط الجينية الوظيفية هى تتابع عشوائى، ولكن ليس أى نوع من العشوائية، إنما تنتمى إلى نوع خاص جدًا جدًا من التتابعات العشوائيات البديلة، هى بالذات التى تقوم بتشفير المعلومات البيولوجية ذات الصلة. وكل التتابعات العشوائية ذات الطول نفسه تشفر نفس الكمية من المعلومات، ولكن جودة هذه المعلومات هى مسألة حاسمة: وفى الغالبية العظمى من الحالات، وبالحديث عبر لغة البيولوجيا، ستكون الكتاب الكامل الأكثر تعقيدًا.

والنتيجة التى نكون قد وصلنا إليها تُعَدّ واضحة وعميقة فى الوقت نفسه، وهى أن خريطة جينية وظيفية هى، فى الوقت نفسه، عشوائية وذات خصائص تخصصية على مستوى عال، الأمر الذى يكاد يبدو متناقضًا. إنها لا بد أن تكون عشوائية لتحتوى على كمية حقيقية وجوهرية من المعلومات، كما لا بد أن تكون هذه المعلومات متخصصة ومحددة لكى تكون لها علاقة بما هو بيولوجى. والحيرة التى تواجهنا تتمثل فى كيف لهذا البناء أن جاء للوجود. نحن نعلم أن المصادفة

يمكن أن تثمر عشوائية، ونحن نعلم أن القانون ينشئ مُنتجًا متخصصًا ومحددًا وتنبؤيًا. ولكن كيف لهاتين الخاصيتين أن تجتمعا أو تتضاما فى عملية واحدة؟ كيف ندمج المصادفة مع القانون ليتعاونا فى إنجاز بناء عشوائى ومتخصص أو محدد معًا.

ولكى تعرف بعضًا من الفكرة عما نواجهه هنا فى هذه المتاهة، فهى مثل إفراغ حبات القهوة من الجرة، بحيث تشكل هذه الحبات فوق السطح الذى ستنتثر فوقه، نموذجًا عشوائيًا فى بدايته. وليس مجرد نموذج عشوائى قديم، ولكن نموذجًا عشوائيًا سابق تحديده، وضيق التخصص، وواضح لا لبس فيه. الهدف هنا يبدو مرعبًا وهائلاً. هل يمكن لقانون فى حد ذاته ومن دون عنصر حَظّ كبير (كالمصادفة مثلاً) أن يفعل مثل هذا الشيء؟ هل لعشوائية محددة أن تكون المنتج المضمون لعملية تشبه القانون ومقدرة سلفًا وميكانيكية، مثال الحساء البدائى متروكة تحت رحمة القوانين المألوفة للفيزياء والكيمياء؟ لا . إنها لا تستطيع. ليس ثمة قانون للطبيعة نعرفه يسمح بإنجاز ذلك. إن الحقيقة ذات المعنى الأكثر عمقًا سوف نراها فى الفصل العاشر.

إذا كنت قد وجدت شيئًا من الدفع أو الحث فى هذه المناقشة الجارية فلا بد أنّك ستكون متسامحًا مع ما تضمنته من أن الخريطة الجينية هى نوع من الإعجاز الأعجوبى. ومع ذلك، فمعظم المعضلات التى أبرزتها مسبقًا تنطبق على القوة المعادلة لتطور الخريطة الجينية عبر الزمن. وفى هذه الحالة فإن لدينا حلاً جاهزًا للمتاهة نطلق عليه: «الداروينية». المتغير الإحيائى العشوائى، بالإضافة للاختيار الطبيعى هما اللذان يقدمان زنادًا لتكاثر المعلومات البيولوجية بحيث تمتد خريطة جينية قصيرة، لتصبح خريطة جينية عشوائية طويلة عبر الزمن. المصادفة هى التى تُغذِّى التغير الإحيائى، والقانون هو الذى يُغذِّى شكل الانتقاء للتجمع الصحيح للعشوائية والنظام المطلوب أو الذى يحتاج إليه إنشاء «الشىء الممكن». هذا والمعلومات الضرورية، وكما رأينا، تأتى من البيئة المحيطة.

والآن فإن التطور الداروينى هو عملية طويلة وشاقة على الحياة أن تناضل بقوة لكى تُحكِم وتتقن هذه «البركة» من الجينات على هذا النحو. ولكن مـــاذا عـــن الخريطة الجينية الأولى؟ هل كانت بدورها نتاجًا لعملية تطور مشابهة جرت بقوة؟ أو أنها عملية، جاء تعقيدها هكذا من دون مقابل؟ يعلـــم علمـــاء الكمبيـــوتر عـــن معضلات كمبيوترية معينة يتعذر إنقاص تعقيدها، بما يعنى أنها لا يمكن اختزالهـــا لمنتج أبسط وأكثر أناقة. ومن أشهرها المسألة المعروفة بمعضلة مندوب المبيعـــات المتجول، والمتضمنة أن يجتاز الرجل أقصر الطرق لمجموعة من المدن، شـــريطة ألا يزور إحداها أكثر من مرة. معضلة مثل هذه تصبح عـــسيرة علـــى الحـــل أو المعالجة عن طريق العمليات الكمبيوترية، ليس لأنها غير قابلة للحل، ولكن بسبب كمية العمليات الحوسبية المتطلبة التى تتصاعد بالحد فى حجم المشكلة (نسبة إلـــى كم المدن الموجودة فى المثال)[١٣].

ويظهر أن عملية التقدم المعلوماتية التى تحتاج إليها لتكاثر الخريطة الجينية ربما تصبح من العسير معالجتها كمبيوتريًا. وتصنيف أو اختيار نوع معـــين مـــن التتابع العشوائى من التتابعات الممكنة يعد نوعًا من الترويع كعملية ترحال مندوب المبيعات الذى عليه أن يزور مليون مدينة. والتى تطلق المتناقضة المركزية للنشوء الإحيائى فى المراحل الزمنية التالية. وبمعرفتنا أن الأمر يتطلب حوسبة كمبيوترية طويلة وقاسية (مثل تتابع لخطوات تقدمية معلوماتية)، لكى تتطور خريطة جينيـــة من الميكروب إلى الإنسان، هل تستطيع الخريطة الجينية لميكروب (مع احترامنـــا الكامل له) أن تأتى للوجود عبر عملية كمبيوترية طويلة وقاسية؟ كيف، وقبـــل أن يجىء طور أو حقبة التطور الداروينى، يستطيع نوع خاص جدًا من المعلومات أن يبرز مكتسحًا أمامه بيئة غير حية ثم يتموضع، مودعًا نفسه فى شىء كالخريطـــة الجينية.

ومن خلال الاستضاءة بنور نظرية الحوسبة الكمبيوترية، فإن معضلة النشوء الإحيائى تبدو محيرة تمامًا كما تبدو أمام عينى الفيزيائى والكيميـــائى. والـــصعوبات

ليست تقنية تمامًا. ثمة مشاكل فلسفية غائمة في الأفق أيضًا. مفاهيم مثل «المعلومات» «السوفت وير» لا تأتي من العلم الطبيعي على الإطلاق، ولكن من نظرية الاتصالات (انظر الفصل الثاني)، وهي تتضمن أشياء ذات جدارة مثل سياقات وأحوال من التوصيفات والأفكار الغريبة تمامًا عن وصف الفيزيائيين للعالم.

وبعد، فمعظم العلماء أيدوا المفاهيم المعلوماتية وشرعية تطبيقها على الأنظمة البيولوجية، ورَحّبوا بالتعامل مع معلومات علم دلالات اللغة كما لو كانت كميات من الطاقة. ومن سوء الحظ أن الـ «معنى» يبدو كما لو كان قريبًا من «الغرض»، وهو موضوع «تابو» (أي مقدس لا يتوجب المساس به) مطلق في البيولوجيا. وهكذا تُركنا مع التناقض، الذي تحتاج استعماله أو تخصيصه للمفاهيم النابعة من الأنشطة البشرية الهادفة (الاتصالات، والمعنى، السياقات، علم دلالات اللغة) للعمليات البيولوجية، التي تبدو بالتأكيد هادفة، وهي في الحقيقة ليست كذلك (أو ليس مفترضًا أن تكون كذلك).

ثمة خطورة واضحة في علم التخطيط أو وضع خطة لمستويات الطبيعة المدركة والمشتقة من عالم الشئون البشرية. كما لو كانت جوهرية أو حقيقية للطبيعة ذاتها. وبعد كل شيء، فإن الكائنات البشرية هي نتاج للطبيعة ولو أن للبشر هدفًا، فحينئذ ولمستوى معين، تكون الغرضية أو «الهدفية» قد ظهرت بدورها من الطبيعة، وبالتالي توارثت فيها. ولو أن خاصية «الهدفية» تلك قد ظهرت فقط، متصلة بمستوى عالٍ من النوع الإنساني العاقل، أم أنها في الحيوانات الأخرى أيضًا؟ متى سعى الكلب وحفر الأرض بحثًا عن عظام مدفونة فيها؟ هل الرغبة في أن يسترد هذه العظام؟ وكيف اقتربت أميبيًا وغمست أو غمرت جزءًا صغيرًا من الطعام. وهل كانت تنوي إبتلاعه؟ وربما كانت «الهدفية» هي خاصية حقيقية للطبيعة على مستوى النسيج الخلوي أو ربما على مستوى النسيج الخلوي الثانوي؟ ليست ثمة أجوبة متفق عليها عن هذه الأسئلة[١٤]. ولكن لا أهمية لأصل الحياة ولا يكتمل تقديره دون إعلان تلك الأسئلة.

الهوامش

(١) من المعروف أن هناك حدودًا أساسية لما يمكن اكتشافه فيما يتعلق بالنظم الأساسية. على سبيل المثال فإن لا يقينية هايزنبرج كمبدأ في ميكانيكا الكم تمنع معرفة موقع وحركة الذرة في وقت واحد. وعلى ذلك فهناك لا إمكانية أساسية للنفاذ إلى الطبيعة على مستوى الذرة. وربما يكون سر أصل الحياة هو الآخر مما لا يمكن النفاذ إليه؟ والفيزيائي نيلز بور **Niels Bohr** أحد مؤسّسي ميكانيكا الكم اعتقد هذا المنحى في إحدى المرات، وانتهى إلى أن الحياة ربما تخفي سرها عنا بنفس الطريقة التي تخفي الذرة عنا سلوكها. «ومن منطلق هذه النظرة، فإن وجود الحياة يجب أن نعتبره كحقيقة مبدئية لا يتسنى شرحها» وهذا بنص تعبيره. انظر: الضوء والحياة **"Light and Life"** لـ: نيلز بور **(Nature 131, 421 and 457 (1933))**.

(٢) يصادف أن عدد الأحماض الأمينية المستخدمة يصل إلى واحد وعشرين حمضًا.

(٣) التحولات الرئيسية في التطور **«The Major Transitions in Evolution»** لـ: جون ماينارد سميث **John Maynard- Smith** وإيروس ساثماري **Eörs Szathmáry**.

(Freeman, Oxford and New York 1995, p. 81).

(٤) تطور الشيفرة الجينية **«Evolation of the genetic code»** لـ: كارل ووز **Carl Woese**.

(Natur Wissen Schaften 60, 447 (1973)).

(٥) يمكن العثور على اعتبار تقني في: نموذج فائق النظامية لتطور «الشيفرة الجينية» **"A Supersymetric Model for the Evolution of the genetic code"** لـ: ج. د. باشفورد **"J.D. Bashford"** وآي. تسوهانتجيز **"I. Tsohantjis"** و ب. د. جارفيز **P.D. Jarvis**.

(Proceedings of the National Academy of Science USA 95, 987 (1998)).

(٦) ثمة دليل ظرفى مثير للاهتمام، ظهر مؤخرًا عن رابطة أخرى بين الشفرة الجينية والفيزياء الأساسية. وهو اكتشاف باتل "Patel" أن حساب جروفر Grover فى الحوسبة الكمية يرجح الأرقام ٣، ٤، ٢٠ وقد ناقشت هذه المسألة باختصار فى المقدمة.

(٧) مما يثير الاهتمام ما يظهر من أن ثمة تتابعات أو نتائج تبعية عشوائية فى الدنا والتى تعرف – ولسبب واضح – بأنها نفاية الدنا، والتى لا تقوم بأى دور حاسم.

(٨) انظر على سبيل المثال: المعلومات والعشوائية فى اللا تمامية، أبحاث عن نظرية المعلومات الحسابية لـ: جريجارى شاتان "Gregary Chaitin".

(Second edition, Word Scientific Press, Singapore 1990) ويقوم عمل شاتان على أفكار سابقة لـ: إيه. ن. كولموجوروف «A.N. Kolmogorov» وراى سولومونوف «Ray Solomonoff» ويمكن الاطلاع على هذه الأعمال المبكرة فى: مقدمة فى التعقيد لـ: كولموجوروف وتطبيقاته" An Introduction to Kolmogrorov Complexity and Its Applications" لـ: منج لى "Ming Li" وبول فيتانيى "Paul Vitanyi".

(Springer- Verlag, New York 1997).

(٩) ربما يكون تعبير «النظم المشوشة Chaotic Systems وهى أمثلة على النظم التى يكون سلوكها بالضرورة عشوائيًا، وبالتالى لا يصبح الانضغاط الحسابى ممكنًا معها.

(١٠) بعض الفيروسات يستخدم الرنا أكثر من الدنا (انظر الفصل الخامس). وهذا مثال واحد تم استقاؤه من: المعلومات وأصل الحياة "Information and the Origin of Life" لـ: بيرند- أولاف كوبرز "Bernd- Olaf Küppers».

(MIT Press, Cambridge, Mass. 1990, p. 101).

(١١) معظم النظم الجينية لن تكون بالطبع متتابعات عشوائية بالكامل، إذا كان السبب فقط يرجع لقواعد الترقيم فى الشيفرة الجينية. بالإضافة إلى أن العدد الوافر من الدنا ربما يتضاعف أو

ينقلب رأسًا على عقب، خاصة فى نوع الإيكاريوت(*) "**Eukaryotes**". ومع ذلك يمكننا أن نبعد هذه العاديات المنتظمة الكثيرة والبسيطة فى آن معًا، ويظل السؤال عما إذا كان المتبقى عشوائيًا. ولم يسبق إدراك نموذج نظامى داخل تعاقبات البروتين التخصصى الفردى.

(١٢) كان شرودنجر "**Shrödinger**" واضحًا عندما وضع حدسًا بأن النظام الجينى لا بد أن يحتوى على «بللورة لا نظامية فى حدوثها": ووضع مقارنة بين بللور عادى ونموذج ورق الحائط، وأبدى ملاحظته بأن النظام الجينى كان أشبه كثيرًا بنسيج مطرز كثير النقوش. انظر: ما الحياة؟ "**What is Life?**" لـ: إروين شرودنجر "**Erwin Shrödinger**".

(Cambridge University Press, Cambrdige 1944, p. 64).

وهناك أيضًا مناقشة واضحة للغاية فى التفرقة بين النظام والتنظيم أو المنظمة، ومشتملة على تقدير تفصيلى عن لماذا يكون النظام الجينى عشوائيًا ومتخصصًا فى الوقت نفسه، تجدها فى: نظرية المعلومات والبيولوجيا الجزيئية " **Information Theory and Molecular Biology**" لـ: هوبرت يوكى "**Hobert Yockey**". **(Cambridge University Press, Cambridge 1992).**

(١٣) وعلى نحو أكثر تحديدًا، فمن المعتقد (وإن لم تتم البرهنة عليه على نحو دقيق) أن مشكلة «البائع الجوال» تنتمى لطراز المشكلات الكمبيوترية والتى لا يمكن حلها فى إطار ما يسمى الزمن كثير الحدود "**Polynomial**". لأن كثيرًا من المشكلات الكومبيوترية يظهر فيها زمن الحوسبة، إمّا كجزء من التعقيد وإما كوظيفة زمنية له متعددة الحدود. وهناك مشكلات أقل تعقيدًا ربما تتطلب، على سبيل المثال، زمنًا جاريًا ذا طابع أسّى.

(١٤) ثمة رد إيجابى حول مستوى العضويات ذات الخلية الواحدة تجده فى: التماسك الكمى فى الكائنات الأنبوبية المايكروية: أساس عصبى لظهور الوعى " **Quantum Coherence in Microtubules: a Neural basis for emergent consciousness**" لـ: ستيوارت هاميروف "**Stuart Hameroff**"

(Journal of Consciousness Studies, 1, 91 (1994)).

(*) الكائنات ذات الأنوية الحقيقية، حيث توجد بها نواة مغطاة بغشاء نووى وتوجد خارج تلك الأغطية المكونات الخلوية، وهى عادة خلايا الكائنات الأولى فى الوجود. (المترجم).